



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA

**CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS FRONTAIS RESPONSÁVEIS POR VENTOS
INTENSOS NA BACIA DE SANTOS**

Jamyle Magalhães da Silva

Orientadoras: Prof.^a D. Sc. Fernanda Cerqueira Vasconcellos

Prof.^a D. Sc. Claudine Pereira Dereczynski

Monografia submetida ao corpo docente do Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários à obtenção de grau de Bacharel em Meteorologia.

Rio de Janeiro

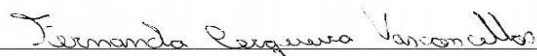
2021

CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS FRONTAIS RESPONSÁVEIS POR VENTOS
INTENSOS NA BACIA DE SANTOS

Jamyle Magalhães da Silva

Monografia submetida ao corpo docente do Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários à obtenção de grau de Bacharel em Meteorologia.

Avaliada por:



Prof.ª D. Sc. Fernanda Cerqueira Vasconcellos - IGEO/UFRJ

(Orientadora)



Prof.ª D. Sc. Claudine Pereira Dereczynski - IGEO/UFRJ

(Orientadora)



Prof.ª D. Sc. Ana Cristina Pinto de Almeida Palmeira - IGEO/UFRJ



Prof.º D. Sc. Wallace Figueiredo Menezes – IGEO/UFRJ

Rio de Janeiro, RJ

Maio, 2021

CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS FRONTAIS RESPONSÁVEIS POR VENTOS
INTENSOS NA BACIA DE SANTOS

SILVA, JAMYLE MAGALHÃES

CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS FRONTAIS RESPONSÁVEIS POR VENTOS
INTENSOS NA BACIA DE SANTOS [Rio de Janeiro], 2021

Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Meteorologia.

1. Sistemas Frontais
2. Ventos Intensos
3. Bacia de Santos

*“O conhecimento tem um começo, mas não tem
fim.”*

(Geeta Iyengar)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado a oportunidade de começar esse curso, por ter me capacitado e me ajudado a finalizá-lo. Agradeço também por todas as pessoas que Ele colocou em meu caminho e que me ajudaram a não desistir. À Ele seja dada toda glória e honra.

Aos meus pais, Roberto e Tania, por todo apoio e suporte em todos os momentos. Obrigada por estarem sempre me incentivando, pelos conselhos, pelas broncas, sempre no momento certo, e pelas risadas. Agradeço a Deus pela nossa família e por ter vocês como pais.

Aos meus amigos da faculdade, Gabriela, Beatriz, Victor, Ana Beatriz, Karine, Anna Letícia, Ana Clara, Juan. Vocês me incentivaram quando menos podiam imaginar, tornaram esses anos mais leves e alegres com todas as conversas, risadas, almoços, nossos momentos bobos e por me ouvirem. Não consigo imaginar os meus dias sem vocês. Também aos meus amigos de antes da faculdade, em especial a Giovana pela paciência comigo. Todos vocês têm um lugar especial no meu coração. Obrigada por tudo!

Aos amigos, familiares e professores que estiveram presentes ao longo desse ciclo e que de alguma maneira contribuíram, seja com conhecimento, risadas, abraços ou palavras de incentivo. Muito obrigada a todos!

As minhas orientadoras, Fernanda Vasconcellos e Claudine Dereczynski, pela paciência, pelas horas dedicadas à minha orientação e pelos ensinamentos dentro e fora de sala.

Ao projeto Caracterização da Meteorologia e Clima de Ondas na Bacia de Santos, no qual essa pesquisa está inserida, pela oportunidade.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo identificar as condições sinóticas associadas à passagem de sistemas frontais (SFs) que ocasionaram ventos intensos na Baía de Santos (BS). Ademais, diferenciou-se as características atmosféricas, relativas à passagem de SFs, que geram ventos intensos (VINT) e moderados (VMOD) na área de estudo. Para tal, foram elaborados compostos VINT e VMOD ocorridos durante a passagem de SFs, utilizando os dados do *Climate Forecast System Reanalysis*. Inicialmente, a seleção dos casos VINT e VMOD foi feita a partir dos dados de intensidade do vento a 10 metros de altura (V10M) observados na boia de Santos, pertencente ao Programa Nacional de Boias. Para identificação dos sistemas sinóticos responsáveis por ventos intensos e moderados na boia de Santos, foram analisadas imagens de satélite e cartas sinóticas de superfície, retendo-se apenas os casos gerados por SFs. A partir da comparação entre os compostos de VINT e VMOD, foi possível observar em VINT: i) um forte gradiente de pressão sobre a BS, ocasionando ventos intensos registrados na boia; ii) um cavado baroclínico em médios e altos níveis que alcança a região da BS, e localiza-se a oeste do sistema em superfície; iii) forte gradiente de espessura na camada entre 1000 e 500 hPa e de Temperatura do ponto de orvalho (Td) sobre o continente, alcançando a região da BS, indicando a posição do SF e iv) avanço de uma massa de ar mais fria e seca sobre o sul do Brasil. Para os estudos de casos VINT e VMOD, observou-se que as principais características encontradas nos respectivos compostos foram identificadas nos casos selecionados.

ABSTRACT

This work aimed to identify the synoptic conditions associated with the passage of frontal systems (FSs) that cause intense winds in the Santos Basin (SB). Furthermore, the atmospheric characteristics of the FSs were differentiated, which generate intense (INTW) and moderate (MODW) winds in the study area. For this purpose, INTW and MODW compounds that occurred during the passage of FSs were elaborated, using the data from the Climate Forecast System Reanalysis. Initially, the selection of the INTW and MODW cases was made from the data of wind intensity at 10 meters high (10MW) observed in the Santos buoy, belonging to the National Buoys Program. To identify the synoptic systems responsible for intense and moderate winds in the Santos buoy, satellite images and synoptic surface charts were analyzed, keeping only the cases generated by FSs. From the comparison between the INTW and MODW compounds, it was possible to observe in INTW: i) a strong pressure gradient over the basin, which caused the intense winds registered in the buoy; ii) a baroclinic trough at medium and high levels that reaches the SB region, and it is located to the west of the system on the surface; iii) strong gradient of layer thickness between 1000 and 500 hPa and dew point temperature (DT) over the continent, reaching the SB region, indicating the position of the FS and iv) advancing a colder and drier air mass over southern Brazil. For case studies of intense and moderate wind, it was observed that the main characteristics found in the respective compounds were identified in the selected cases.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1** - Mapa da Bacia de Santos (delimitada pela linha azul), localizada sobre o Oceano Atlântico, aproximadamente entre os paralelos 28 e 23°S e meridianos 49 e 41°W. Fonte: PETROBRAS (2019).
..... 12
- Figura 2.1** - Evolução diária dos compostos, do tempo t-1 ao tempo t+3 de PNMM e APNMM (hPa - linha superior), Altura Geopotencial e anomalia de altura geopotencial em 500 hPa (m_gp - linha inferior), para as 50 FFs mais fortes que atingiram as regiões Sul e Sudeste do Brasil entre 1979 e 2005. Fonte: CAVALCANTI e KOUSKY (2009). 17
- Figura 2.2** - Climatologia sazonal de V10M (m/s - (a) e (b)), PNMM (hPa - (c) e (d)), T2M (°C - (e) e (f)) e UR2M (% - (g) e (h)) elaborada a partir do CFSR para o período 1981-2010 para: verão - DJF (coluna da esquerda), inverno - JJA (coluna da direita). A BS aparece em destaque sobre o oceano. A linha tracejada vermelha indica a posição do cavado invertido sobre a BS. Fonte: adaptado de PETROBRAS (2019). 21
- Figura 4.1** - Compostos com 10 casos de VINT usando a reanálise do CFSR para os campos: (a) PNMM (hPa, contorno e sombreado colorido); (b) V10M (m/s, sombreado); (c) Vento Meridional e Linha de Corrente em 850 hPa (m/s, sombreado colorido); (d) Altura Geopotencial em 500 hPa (m_gp, sombreado colorido); (e) Altura Geopotencial em 200 hPa (m_gp, sombreado colorido); (f) Espessura da camada entre 1000 e 500 hPa (m_gp, contorno e sombreado colorido); (g) Td a 2 metros (°C, sombreado colorido); (h) Água precipitável (mm, sombreado colorido); (i) Divergência do vento em 925 hPa (10⁵ s⁻¹, sombreado colorido); (j) Movimento vertical em 500 hPa (Pa/s, contorno tracejado). Dados do MERGE utilizados para o campo de: (k) Precipitação acumulada diária (mm, sombreado colorido). Áreas com significância estatística de 95% (pontilhado) calculado com o teste t-student. 29
- Figura 4.2** - Compostos com 10 casos de VMOD usando a reanálise do CFSR para os campos: (a) PNMM (hPa, contorno e sombreado colorido); (b) V10M (m/s, sombreado); (c) Vento Meridional e Linha de Corrente em 850 hPa (m/s, sombreado colorido); (d) Altura Geopotencial em 500 hPa (m_gp, sombreado colorido); (e) Altura Geopotencial em 200 hPa (m_gp, sombreado colorido); (f) Espessura da camada entre 1000 e 500 hPa (m_gp, contorno e sombreado colorido); (g) Td a 2 metros (°C, sombreado colorido); (h) Água precipitável (mm, sombreado colorido); (i) Divergência do vento em 925 hPa (10⁵ s⁻¹, sombreado colorido); (j) Movimento vertical em 500 hPa (Pa/s, contorno tracejado). Dados do MERGE utilizados para o campo de: (k) Precipitação acumulada diária (mm, sombreado colorido). Áreas com significância estatística de 95% (pontilhado) calculado com o teste t-student. 32
- Figura 4.3** - Compostos de diferença entre VINT e VMOD usando a reanálise do CFSR para os campos: (a) PNMM (hPa); (b) V10M (m/s); (c) Vento Meridional e Linha de Corrente em 850 hPa (m/s, sombreado colorido); (d) Altura Geopotencial em 500 hPa (m_gp); (e) Altura Geopotencial em 200 hPa (m_gp); (f) Espessura da camada entre 1000 e 500 hPa (m_gp); (g) Td a 2 metros (°C); (h) Água precipitável (mm); (i) Divergência do vento em 925 hPa (10⁵ s⁻¹); (j) Movimento vertical em 500 hPa

(Pa/s). Dados do MERGE utilizados para o campo de: (k) Precipitação Acumulada Diária (mm, sombreado colorido).....	36
Figura 4.4 - Trajetória dos Ciclones - CFSR. (a) Casos VINT; (b) Casos VMOD.	37
Figura 4.5 - Composto de Altura Geopotencial (m ^g p, linhas contínuas) e anomalia do geopotencial (m ^g p, sombreado colorido) em 500 hPa, usando a reanálise do CFSR para: (a) Casos VINT; (b) Casos VMOD. Áreas com significância estatística de 95% (pontilhado) calculado com o teste t-student para anomalia do geopotencial.	38
Figura 4.6 - Compostos de Anomalia de OLR (W/m ² , sombreado colorido), utilizando os dados da NOAA, e Anomalia de Linha de Corrente em 200 hPa, usando a reanálise do CFSR para: (a) Casos VINT; (b) Casos VMOD. Áreas com significância estatística de 95% (pontilhado) calculado com o teste t-student para anomalia de OLR.	39
Figura 4.7 - Campos de PNMM (hPa, contorno e sombreado colorido) e Vento em 1000 hPa (m/s, barbela) – Linha superior – e V10M (m/s) – Linha inferior – gerados para: (a) e (c) Caso-INT – VINT (18Z do dia 03/07/2018); (b) e (d) Caso-MOD – VMOD (18Z do dia 12/05/2018).	41
Figura 4.8 - Campos de Linha de corrente e Vento Meridional em 850 hPa (m/s, sombreado colorido) gerados para: (a) Caso-INT – VINT (18z do dia 03/07/2018); (b) Caso-MOD – VMOD (18z do dia 12/05/2018).	42
Figura 4.9 - Campos de Linha de corrente e Altura Geopotencial (m ^g p, sombreado colorido) nos níveis de 500 hPa (Linha superior) e 200 hPa (Linha inferior) gerados para: (a) e (c) Caso-INT – VINT (18z do dia 03/07/2018); (b) e (d) Caso-MOD – VMOD (18z do dia 12/05/2018).	43
Figura 4.10 - Campos de Espessura da camada entre 1000 e 500 hPa (m ^g p, sombreado colorido) e PNMM (hPa, contorno) – Linha superior; Td a 2 metros (°C, sombreado colorido) e PNMM (hPa, contorno) – Linha do meio; Água precipitável (mm, sombreado colorido) e PNMM (hPa, contorno) – Linha inferior – gerados para: (a), (c) e (e) Caso-INT – VINT (18z do dia 03/07/2018); (b), (d) e (f) Caso-MOD – VMOD (18z do dia 12/05/2018).	45
Figura 4.11 - Campos de Divergência do Vento em 925 hPa (10 ⁵ s ⁻¹ , sombreado colorido) e PNMM (hPa, contorno) – Linha superior; Movimento vertical em 500 hPa (Pa/s, contorno tracejado vermelho) e PNMM (hPa, contorno contínuo preto) – Linha do meio; Precipitação Diária Acumulada (mm) – Linha inferior – gerados para: (a), (c) e (e) Caso-INT – VINT (18z do dia 03/07/2018); (b), (d) e (f) Caso-MOD – VMOD (18z do dia 12/05/2018).	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Variáveis atmosféricas, suas respectivas unidades e níveis extraídos do CFSR.....	22
Tabela 4.1 – Listagem dos 10 casos selecionados de VINT e 10 casos de VMOD, ocasionados por SFS na boia de Santos, em ordem decrescente de intensidade.	25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AM – Anticiclone Migratório

APNMM – Anomalia de Pressão ao Nível Médio do Mar

AS – América do Sul

ASAS – Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul

BS – Bacia de Santos

CFSR – *Climate Forecast System Reanalysis*

CPTEC – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos

DSA – Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais

ENOS – El Niño Oscilação Sul

FF – Frente Fria

FQ – Frente Quente

GPT – Grupo de Previsão de Tempos

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

NCEP – *National Centers for Environmental Prediction*

NE – Nordeste

NOAA – *National Oceanic Atmospheric Administration*

OLR – Radiação de Onda Longa

OMJ – Oscilação de Madden Julian

PFCC – Pós-Frontais Com Chuva

PFE – Pós-Frontais Excluídos

PFSC – Pós-Frontais Sem Chuva

PNBOIA – Programa Nacional de Boia

PNMM – Pressão ao Nível Médio do Mar

PSP – Padrões de Sequências Principais

SAM – *Southern Annular Mode*

SF – Sistema Frontal

T2M – Temperatura a 2 metros

Td – Temperatura do Ponto de Orvalho

UR2M – Umidade Relativa a 2 metros

V10M – Vento a 10 metros

VINT – Vento Intenso

VMOD – Vento Moderado

ÍNDICE

1. Introdução.....	12
1.1. Objetivos	13
2. Revisão Bibliográfica.....	15
2.1. Condições Sinóticas Associadas aos SFs.....	15
2.2. Climatologia da Bacia de Santos	19
3. Dados e Metodologia	22
3.1. Dados	22
3.2. Metodologia	23
4. Resultados	25
4.1. Análise dos compostos	25
4.2. Estudos de Casos	40
5. Conclusões	49
6. Referências Bibliográficas	51

1. Introdução

A Bacia de Santos (BS), localizada sobre o Oceano Atlântico, em sua maior parte na costa Sudeste brasileira (Figura 1.1), estendendo-se desde Florianópolis (SC) até Cabo Frio (RJ), é uma importante região petrolífera e a maior bacia sedimentar *offshore* brasileira (PETROBRAS, 2019).

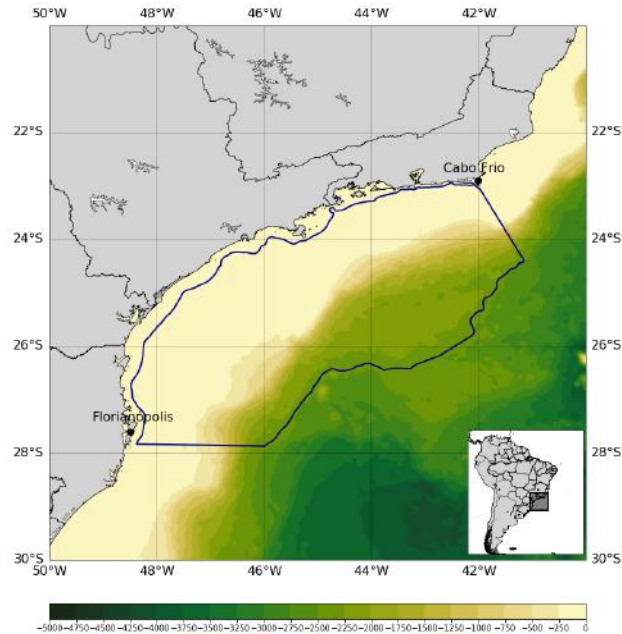


Figura 1.1 - Mapa da Bacia de Santos (delimitada pela linha azul), localizada sobre o Oceano Atlântico, aproximadamente entre os paralelos 28 e 23°S e meridianos 49 e 41°W. Fonte: PETROBRAS (2019).

Na BS estão presentes expressivos campos de exploração do pré-sal, cuja produção teve início em 2010 e atualmente responde por mais de 70% da produção da Petrobrás nessa camada

(https://www.comunicabaciadesantos.com.br/sites/default/files/5_informe_v3_issu.pdf).

Com a intensificação da produção e do escoamento de petróleo e gás natural e, conseqüentemente, do aumento do tráfego de embarcações na BS, torna-se necessário compreender o comportamento dos sistemas meteorológicos que atuam na região, principalmente aqueles responsáveis pela geração de ventos intensos.

A América do Sul (AS) é afetada pela passagem e desenvolvimento de diferentes sistemas atmosféricos que moldam o tempo e o clima na região continental e no oceano adjacente. Entretanto, uma vez que o continente ocupa uma ampla faixa de latitudes, esses atuam de forma heterogênea dependendo da região. Diversos desses sistemas são capazes de

influenciar significativamente nas condições de tempo e clima da região da BS, modulando os padrões de temperatura, umidade e ventos em toda essa área.

Um dos principais sistemas atmosféricos que podem atuar e se deslocar sobre o Atlântico Sul, modular a circulação da região em estudo e afetar o padrão de ventos, muitas vezes fortes, são os Sistemas Frontais (SFs). Assim, é necessário um maior entendimento da forma como esses fenômenos atuam sobre a região do Atlântico Sul, em especial, próximo à costa das Regiões Sul e Sudeste do Brasil, onde localiza-se a BS.

Segundo BJERKNES (1919), um sistema frontal clássico é composto por uma frente fria (FF), uma frente quente (FQ) e um centro de baixa pressão em superfície, denominado ciclone. Uma frente é a zona de transição entre duas massas de ar com características físicas distintas e fortes gradientes de temperatura e umidade, o que é atualmente chamada de zona frontal.

Os SFs são de grande importância devido ao fato de provocarem mudanças significativas no tempo, incluindo chuvas intensas e ventos fortes, que apresentam diversos perigos e prejuízos para navegação, setor elétrico, construção civil e entre outros. As FFs, onde a massa de ar frio desloca a massa de ar quente na superfície, atuam durante todo o ano sobre a AS e geralmente se deslocam de sudoeste para nordeste sobre o continente e Oceano Atlântico adjacente e alcançam latitudes menores durante o inverno (ANDRADE, 2005; CAVALCANTI e KOUSKY, 2009; OLIVEIRA, 1986).

Alguns autores analisaram como os SFs estão relacionados aos eventos de chuva intensa sobre o Sudeste do Brasil (ANDRADE e CAVALCANTI, 2018; DOLIF e NOBRE, 2012; LIMA; SATYAMURTY; FERNÁNDEZ, 2010), visto que esses sistemas são responsáveis por grande parte da precipitação em algumas regiões da AS (OLIVEIRA, 1986). Entretanto, há poucos estudos que relacionam os eventos de ventos intensos com a passagem de SFs.

1.1. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal identificar as condições atmosféricas associadas à passagem de SFs que ocasionam ventos intensos na BS. Como objetivos específicos destacam-se:

- a) Identificar as condições atmosféricas associadas à passagem de SFs que ocasionam ventos moderados na BS;

- b) Entender a diferença entre os eventos intensos e moderados de vento, a fim de contribuir para melhoria da previsão de eventos extremos na região;
- c) Identificar alguns padrões de grande escala que contribuem para ocorrência de tais eventos.

Esta monografia está estruturada da seguinte forma: além desta introdução, no Capítulo 2 apresenta-se a revisão da literatura sobre condições sinóticas associadas aos SFs que se deslocam sobre a AS e sobre a climatologia de algumas variáveis na BS. No Capítulo 3 estão descritos os dados e a metodologia utilizada para seleção dos casos, confecção dos compostos e estudos de casos. A análise dos resultados é apresentada no Capítulo 4. Finalmente no Capítulo 5 estão as conclusões e considerações finais.

2. Revisão Bibliográfica

Neste Capítulo apresenta-se uma revisão da literatura sobre as características atmosféricas associadas aos SFs que atuam sobre o Sudeste da AS, além da caracterização climatológica da BS.

2.1. Condições Sinóticas Associadas aos SFs

As FFs são os sistemas transientes mais frequentes sobre o continente Sul Americano e ocorrem durante todas as estações do ano (SATYAMURTY; NOBRE; SILVA DIAS, 1998), podendo penetrar até latitudes mais baixas, e são fundamentais para os regimes de precipitação e temperatura em quase todo o continente (ANDRADE, 2005; CAVALCANTI e KOUSKY, 2009). Diversos estudos climatológicos de passagens dos SFs sobre a AS indicam uma diminuição na frequência dos sistemas em direção ao equador (ANDRADE, 2005; CARDOZO *et al.*, 2015; CAVALCANTI e KOUSKY, 2009; OLIVEIRA, 1986). CAVALCANTI e KOUSKY (2009) identificaram uma sazonalidade na ocorrência de passagem de FFs, sendo essas mais frequentes de maio a setembro e menos frequentes durante o verão. Entre 25°S e 30°S, as frentes ocorrem em maior número e durante todo o ano, sendo mais numerosas de maio a outubro. Para as Regiões Sul e Sudeste do Brasil, os resultados de ANDRADE (2005) mostraram que a menor frequência de frentes ocorre durante o verão, aumentando gradativamente até um máximo na primavera. Esses resultados são similares ao de PAMPUCH e AMBRIZZI (2016).

O deslocamento dos SFs sobre a AS possui padrões distintos durante o ano. No verão, o deslocamento é mais lento e caracterizado por organizar a atividade convectiva em bandas de convecção profunda. Já no inverno, as massas de ar frio associadas a alta pressão em superfície e a baixas temperaturas penetram na direção norte-nordeste sobre o continente, ocasionando em condições de frio sobre regiões subtropicais e tropicais (GARREAUD, 2000; NOBRE *et al.*, 1998; SATYAMURTY; NOBRE; SILVA DIAS, 1998). A circulação atmosférica associada ao avanço do ar frio em direção ao equador, em ambos os casos, é caracterizada por uma onda amplificada em médios níveis, com uma crista a oeste dos Andes; em superfície, há um anticiclone a oeste dos Andes e um cavado sobre o leste da AS e Atlântico Sudoeste (CAVALCANTI e KOUSKY, 2009; GARREAUD, 2000). Nos resultados de ANDRADE (2005) foram identificadas algumas características das condições sinóticas associadas ao deslocamento dos SFs sobre o continente, ou se desviando para o oceano. Uma alta pós frontal intensa, ventos de quadrante sul sobre parte das regiões Centro-

Oeste e Sul da Amazônia e advecção de vorticidade negativa sobre parte do Centro-sul do Brasil foram fatores que favoreceram o deslocamento dos sistemas sobre o continente. Além disso, a intensidade das cristas e cavados e do jato subtropical também estava relacionada ao deslocamento das frentes.

CAVALCANTI e KOUSKY (2009) estudaram a passagem de SFs sobre diversos aspectos, utilizando-se dos dados associados aos 50 casos mais intensos entre os anos de 1979 e 2005. Dos compostos desses 50 casos foi possível extrair uma série de informações a respeito do comportamento de algumas variáveis atmosféricas ao longo de uma passagem de SF sobre essas regiões do Brasil, incluindo o Atlântico Sul. Tais resultados foram compilados e organizados em forma de figuras, como a Figura 2.1, que apresenta as variáveis Pressão ao Nível Médio do Mar (PNMM) e Anomalia de PNMM (APNMM), Altura Geopotencial e anomalia de Altura Geopotencial em 500 hPa. No tempo “t-1”, é observado um cavado em 500 hPa ao longo da costa oeste da AS e um sistema de baixa pressão sobre o norte da Argentina. No tempo “t”, o cavado em 500 hPa avança para leste sobre a Argentina e a FF (eixo de anomalias negativas de pressão), para norte em direção ao Sul do Brasil. No tempo “t+1”, a frente alcança o Sudeste do Brasil e o sistema de alta pressão atravessa os Andes e daí, se move para nordeste sobre o continente. Nos tempos subsequentes (“t+2” e “t+3”), a FF continua a se deslocar para nordeste, ao mesmo tempo que o cavado em 500 hPa se desloca para leste, cruzando a AS em direção ao oceano Atlântico.

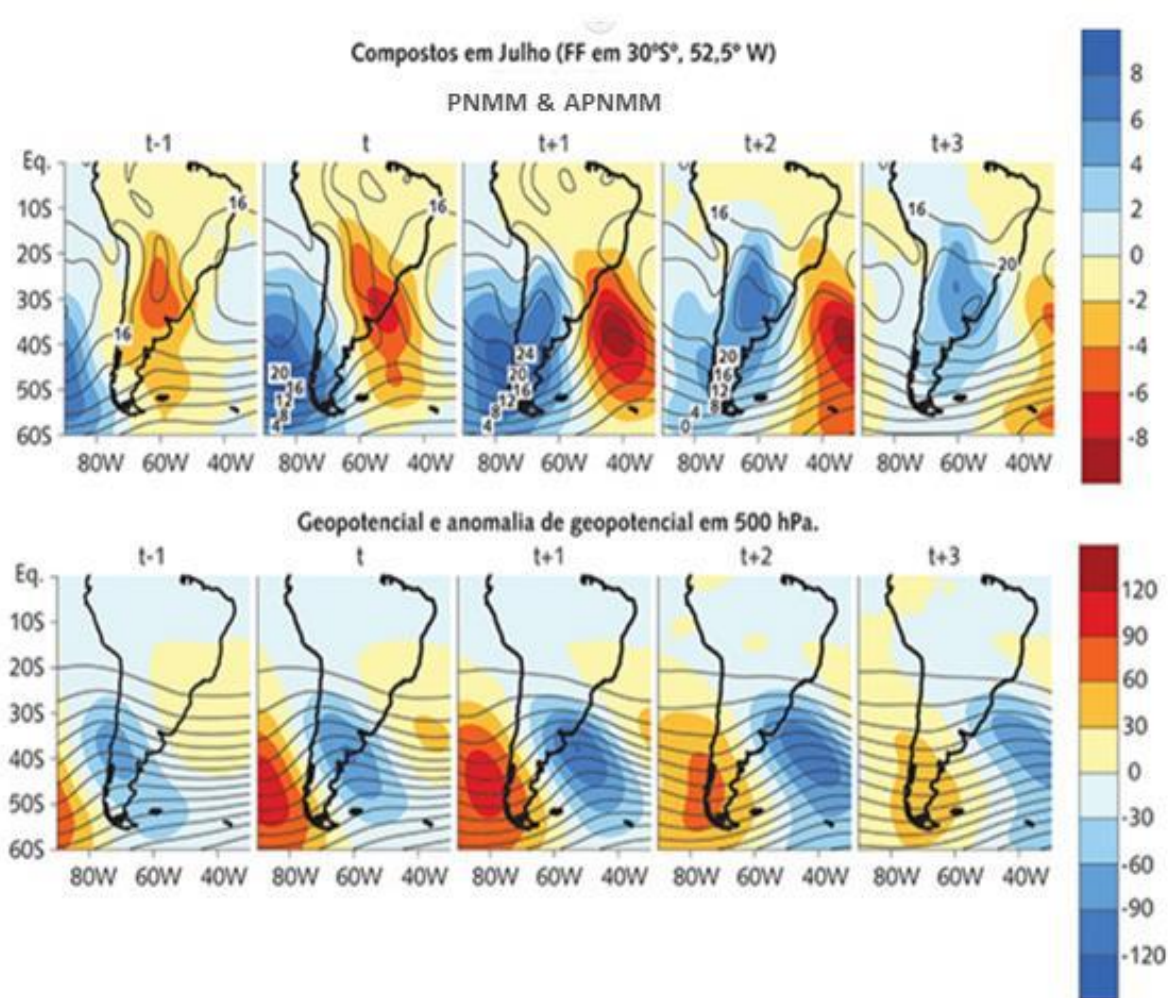


Figura 2.1 - Evolução diária dos compostos, do tempo t-1 ao tempo t+3 de PNMM e APNMM (hPa - linha superior), Altura Geopotencial e anomalia de altura geopotencial em 500 hPa (mcp - linha inferior), para as 50 FFs mais fortes que atingiram as regiões Sul e Sudeste do Brasil entre 1979 e 2005. Fonte: CAVALCANTI e KOUSKY (2009).

MOURA; ESCOBAR; ANDRADE (2013) identificaram três Padrões de Sequências Principais (PSP) de pressão em superfície e de altura geopotencial em 500 hPa, a partir de eventos de chuva intensa na região metropolitana do Rio de Janeiro, e relacionaram esses campos com o objetivo de analisar a estrutura vertical da circulação atmosférica associada a tais eventos. A partir dessa análise, foram encontradas duas relações principais: a primeira associada a entrada de uma típica FF de verão, acompanhada de um cavado pouco amplificado em 500 hPa; e a segunda, ao avanço de uma intensa FF sobre o país, e significativo sistema de alta pressão pós-frontal, que avança até latitudes mais baixas, inclusive estando associado a eventos de friagem. Em nível médio essa FF está associada ao deslocamento de uma significativa onda baroclínica.

ANDRADE e CAVALCANTI (2018) avaliaram as características dos SFs que causam pouca chuva e muita chuva na Região Sudeste. Os casos chuvosos são associados ao sistema mais próximo ao continente e uma alta migratória pós-frontal mais intensa que nos casos com pouca chuva. Os casos chuvosos também são associados a um intenso fluxo de umidade vindo de noroeste e do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), promovendo uma forte convergência de umidade sobre a Região Sudeste. Nos níveis altos, os casos chuvosos (secos) apresentam o cavado baroclínico amplificado sobre o continente (oceano), ambos os casos associados a trens de onda vindos do Pacífico. Esses trens de onda com posicionamentos diferentes podem estar associados com diferentes fases de padrões de teleconexões. Isso é ratificado por ANDRADE e CAVALCANTI (2018), que também indicaram que o Modo Anular Sul (*Southern Annular Mode* - SAM) e a Oscilação de Madden Julian (OMJ) possuíam fases opostas entre os casos chuvosos e com pouca chuva, com SAM positivo (negativo) nos casos chuvosos (secos). Com relação à OMJ, a convecção na Indonésia e o leste do Brasil possuem relações opostas. Nos casos chuvosos (secos), há menor (maior) convecção sobre a Indonésia (ANDRADE e CAVALCANTI, 2018). CALDAS *et al.* (2020) também verificaram que a combinação de diferentes fases do SAM, El Niño Oscilação Sul (ENOS) e anomalias de gelo marinho antártico influenciam na trajetória das FFs sobre a AS. Sobre o continente, a máxima frequência de frentes ocorre na combinação da fase positiva do ENOS (El Niño) com a fase negativa do SAM e máxima extensão de gelo marinho nos mares de Bellingshausen-Amundsen e Weddel.

BONNET; DERECZYNSKI; NUNES (2018) desenvolveram uma climatologia de eventos de chuva pós frontal no município do Rio de Janeiro, para o período de 2000 a 2013, e identificaram as condições sinóticas associadas ao fenômeno. Os casos pós-frontais foram classificados em três tipos: Pós-Frontais Sem Chuva (PFSC), Pós-Frontais Com Chuva (PFCC) e Pós-Frontais Excluídos (PFE), nos quais não foi possível identificar a saída do SF da região em estudo. Seus resultados mostraram que dos 473 casos de passagem de SFs sobre o município do Rio de Janeiro, 32% são do tipo PFSC e 16%, PFCC. Sendo os casos de PFCC mais frequentes no outono, enquanto os PFSC predominaram no inverno e primavera. As condições sinóticas nos casos PFCC indicam que o cavado frontal em superfície, sobre o oceano, encontra-se mais amplificado e o anticiclone migratório (AM) encontra-se mais intensificado do que nos casos PFSC. A convergência associada ao SF em PFCC também é mais intensa em toda a sua extensão, do que em PFSC. Ao sul do estado do Rio de Janeiro, nos dois casos, os ventos sopram de sul e com giro anticiclônico, perpendiculares à linha da

costa, provenientes do AM. As autoras também fizeram uma comparação entre dois casos utilizados como exemplos de PFSC e PFCC e concluíram que a direção e intensidade do vento na região são fatores determinantes para a caracterização do evento PFCC ou PFSC, pois auxiliam no transporte de umidade, convergência e movimento ascendente junto à costa.

FRANCO (2020) e FRANCO; MENEZES; VASCONCELLOS (2020) analisaram 70 eventos de ventos intensos que ocasionaram quedas de torres de transmissão de energia elétrica de 1980 a 2017. Para região Tropical Litorânea, que são os municípios mais próximos do litoral, abrangendo os estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo e São Paulo, foi verificado que todos os casos de quedas de torres estão ligados a sistemas transientes: SFs e baixa pressão no oceano. Dos 4 padrões sinóticos identificados, dois deles (padrões 2 e 3) indicam forte gradiente de pressão em superfície sobre a região de interesse, onde no padrão 2 há um cavado associado a uma intensa baixa pressão sobre o oceano e o padrão 3 indica a atuação de uma FF com uma alta migratória na retaguarda.

2.2. Climatologia da Bacia de Santos

Em PETROBRAS (2019) foi apresentada uma climatologia da BS através da descrição dos campos espaciais médios de PNMM, Temperatura do ar a 2 metros (T2M), Umidade Relativa do ar a 2 metros (UR2M) e Intensidade do Vento a 10 metros (V10M) obtidos a partir da Reanálise do *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR) para o período 1981-2010. Tais campos foram sintetizados na Figura 2.2. Ao longo de todo o ano, a BS fica situada na borda oeste do ASAS, onde a direção predominante do vento é de nordeste (NE). Foi observado a presença de um cavado invertido sobre a BS, onde os ventos apresentam curvatura ciclônica (linha tracejada em vermelho – Figura 2.2a e Figura 2.2b). Tal cavado, mais pronunciado no verão do que no inverno, está associado com uma região ciclogênica na região, como descrito em REBOITA *et al.* (2010). No verão, foi observado um pequeno centro ciclônico de 1012 hPa englobando praticamente toda a região de interesse (Figura 2.2c). As maiores intensidades de V10M para a área de estudo também ocorrem nessa estação (Figura 2.2a) atingindo valores entre 2 e 5 m/s, justamente devido ao gradiente de pressão mais intenso. O mesmo é observado em CARDOSO (2019). Além disso, há pouca variação de temperatura e umidade, com valores médios acima de 80%, sobre a BS (Figura 2.2e e Figura 2.2g). No inverno, o centro do ASAS encontra-se em sua posição mais ao norte e mais próximo ao continente Sul-Americano, o que reduz o gradiente de pressão, ocasionando os maiores valores médios de PNMM e mínimos de intensidade do vento na

BS (Figura 2.2b e Figura 2.2d). Nessa estação, o gradiente térmico aumenta e a umidade não ultrapassa o limiar de 85% na região de estudo (Figura 2.2f e Figura 2.2h).

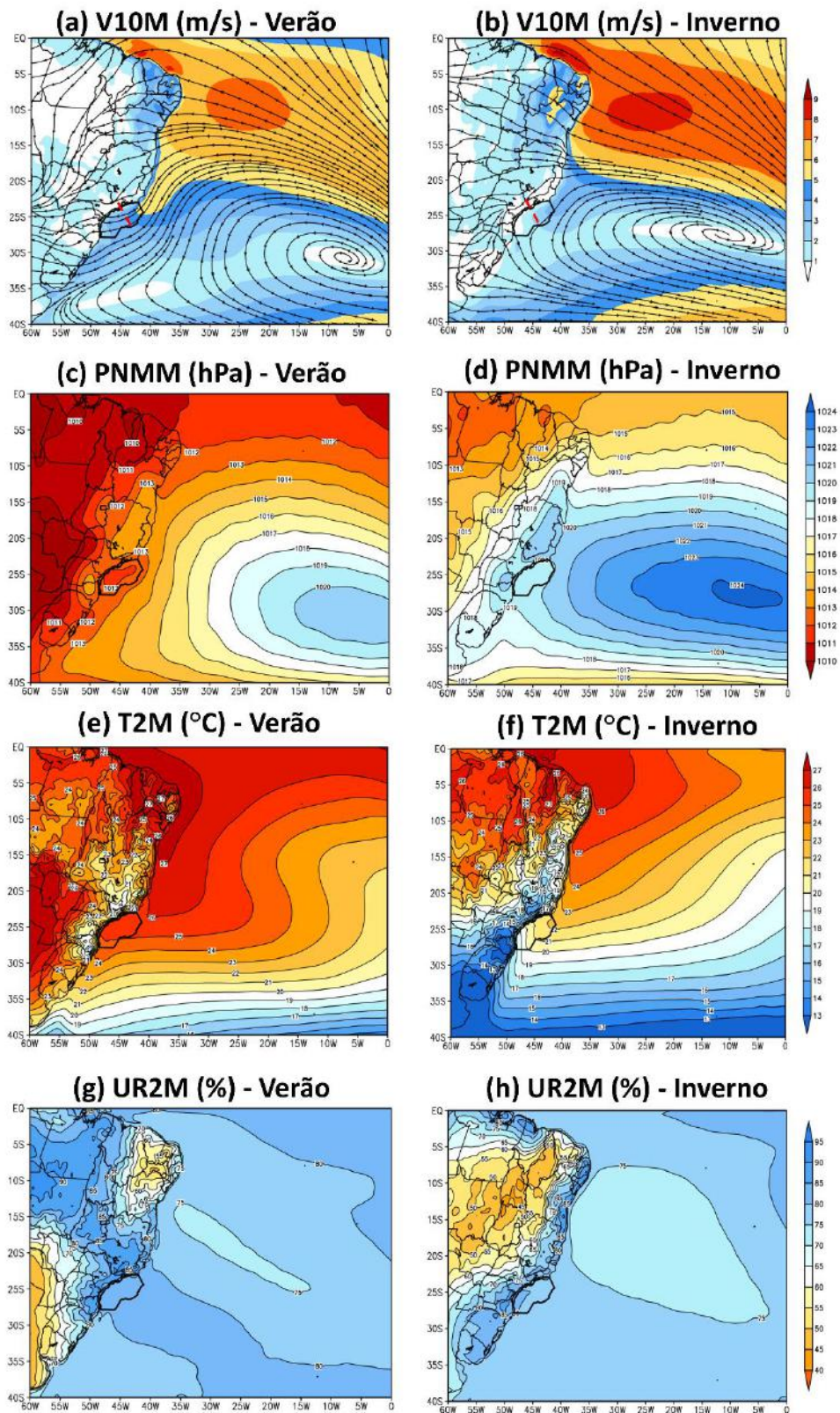


Figura 2.2 - Climatologia sazonal de V10M (m/s – (a) e (b)), PNMM (hPa – (c) e (d)), T2M (°C – (e) e (f)) e UR2M (%) – (g) e (h)) elaborada a partir do CFSR para o período 1981-2010 para: verão – DJF (coluna da esquerda), inverno – JJA (coluna da direita). A BS aparece em destaque sobre o oceano. A linha tracejada vermelha indica a posição do cavado invertido sobre a BS. Fonte: adaptado de PETROBRAS (2019).

3. Dados e Metodologia

Neste Capítulo, apresentam-se os dados utilizados e a metodologia aplicada para seleção dos casos de FF e elaboração dos compostos.

3.1. Dados

Para elaboração deste trabalho foram utilizados os seguintes conjuntos de dados:

- a) Dados da boia de Santos, pertencente ao Programa Nacional de Boia (PNBOIA), cujo período de dados disponível é de 12/04/2011 a 15/07/2017 e 03/05/2018 a 12/07/2018. Para este trabalho, foi utilizado apenas a variável de V10M;
- b) Saídas da Reanálise do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP), versão 2, denominada CFSR (SAHA *et al.*, 2014), para o mesmo período da boia. A resolução espacial dos dados dessa reanálise é de 0,5° de latitude por 0,5° de longitude e a resolução temporal é de 6 horas. Segundo PETROBRAS (2020), o CFSR consegue representar melhor, do que reanálise ERA5, os maiores valores de intensidade do vento na região da BS, sendo esse o principal motivo de sua escolha para esse trabalho. As variáveis meteorológicas utilizadas estão listadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Variáveis atmosféricas, suas respectivas unidades e níveis extraídos do CFSR.

Variável Atmosférica	Unidade	Níveis
PNMM	Pa	Nível médio do mar
Altura Geopotencial	mgp	1000, 500 e 200 hPa
Temperatura do Ponto de Orvalho (Td)	°C	2m
Água Precipitável	mm	Toda atmosfera
Ômega	Pa/s	500 hPa
Componentes zonal e meridional do vento	m/s	10m, 925, 850, 500 e 200 hPa

- c) Dados diários de Radiação de Onda Longa (OLR) com resolução de 2,5° de latitude por 2,5° de longitude (LIEBMANN e SMITH, 1996), obtidos do *National Oceanic Atmospheric Administration* (NOAA).
- d) Dados de precipitação com resolução de 0,25° de latitude por 0,25° de longitude, gerados por ROZANTE *et al.* (2010), através de uma combinação da precipitação observada com a precipitação estimada por satélite, para o período da boia. Tal produto é denominado MERGE pelos autores.
- e) Imagens do satélite GOES-12 e 13 obtidas através da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DSA/INPE) no canal do infravermelho, para identificação dos SFs.
- f) Cartas sinóticas de superfície elaboradas a cada 6 horas pelo Grupo de Previsão de Tempos (GPT) do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), para identificação das SFs.

3.2. Metodologia

Para seleção dos casos de SFs que ocasionaram ventos intensos na BS, foram analisados os dados de V10M na boia de Santos, que são previamente tratados pela Marinha do Brasil. Durante a análise, foi identificado que os valores de intensidade do vento, entre os anos de 2012 e 2013, eram significativamente mais elevados do que o restante da série temporal observada. Portanto, tal período de dados foi removido. Considerando a série de dados restante (12/04/2011 a 31/12/2011 e 01/01/2014 a 15/07/2017), primeiramente, foram identificados os sistemas sinóticos que ocasionaram ventos fortes na boia, através de imagens de satélite e cartas sinóticas de superfície. A partir dessa identificação, foram selecionados todos os casos durante a passagem de SFs.

Após essa primeira etapa, os dados foram organizados em ordem decrescente da velocidade do vento. Assim, os casos acima do percentil 99 ($\geq 13,69$ m/s ou 26,6 kn) foram selecionados como casos de vento intenso (VINT), que são classificados como vento forte (acima de 28 kn) segundo a escala de vento Beaufort (MARINHA), e os casos em que V10M foi maior ou igual ao percentil 70 e menor que o percentil 90 ($8,56 \leq V10M < 10,81$ m/s ou $16,6 \leq V10M < 21,0$ kn) foram considerados como casos de vento moderado (VMOD). Desse modo, identificou-se um total de 16 casos VINT e 10 casos VMOD. Para uniformizar a quantidade de casos nas duas categorias, foram utilizados somente os 10 casos mais intensos dentro do percentil 99 para a categoria VINT.

As saídas da Reanálise foram utilizadas para elaboração de compostos de diversas variáveis em vários níveis da troposfera, para as duas categorias. Os compostos foram elaborados utilizando o horário sinótico mais próximo da ocorrência do vento mais intenso para cada caso. Também gerou-se, para ambas as categorias, compostos de precipitação, utilizando os dados do MERGE, e compostos de anomalia de OLR, utilizando os dados da NOAA. O teste t-student com confiança estatística de 95% foi aplicado nos compostos (WILKS, 2006).

Para identificação da trajetória dos ciclones associados a cada um dos SFs, foram analisados o dia de ocorrência do vento mais forte, o dia anterior e o seguinte ao mesmo. Após essa etapa, buscou-se o valor mínimo de pressão sobre a região do Atlântico Sul, a cada 6 horas, para localizar os centros de baixa pressão e, com isso, identificar suas trajetórias.

4. Resultados

Neste Capítulo, elabora-se a análise sinótica dos SFs que ocasionaram ventos intensos e moderados na BS, a fim de conhecer suas características e entender as diferenças entre eles. O Capítulo está dividido em duas seções: na primeira Seção, encontra-se a comparação entre os compostos obtidos através de dez casos VINT e dez casos VMOD; na segunda Seção, são realizados dois estudos de casos, um de vento intenso e outro de vento moderado sobre a BS.

4.1. Análise dos compostos

As informações sobre os casos VINT e VMOD registrados na boia de Santos no período 12/04 a 31/12/2011 e de 01/01/2014 a 15/07/ 2017 estão listadas na Tabela 4.1. Nota-se que a maioria dos casos VINT ocorreu no ano de 2016 (5 casos), seguido por 2011 (4 casos) e 2015 (1 caso). Com relação as estações do ano, sete dos dez casos VINT ocorreram no inverno, seguidos por outono (2 casos) e primavera (1 caso). Não houve casos VINT no verão. Nos casos VMOD, a maior parte ocorreu em 2011 (6 casos), seguido por 2014 (3 casos) e 2015 (1 caso). Cinco dos dez casos ocorreram no outono, seguidos por inverno e primavera (2 casos em cada estação) e verão (1 caso). O V10M oscilou entre 14,7 e 17,3 m/s (28,6 e 33,6 kn) durante os casos VINT e entre 8,8 e 10,8 m/s (17,1 e 20,9 kn) durante os casos VMOD, com a intensidade máxima registrada após a passagem da FF na maioria dos casos, visto que a direção do vento é de quadrante sul (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Listagem dos 10 casos selecionados de VINT e 10 casos de VMOD, ocasionados por SFS na boia de Santos, em ordem decrescente de intensidade.

10 SFs com ventos intensos				10 SFs com ventos moderados			
Data do evento	Vento mais intenso registrado (m/s)	Direção do vento (°)	Horário do Vento Intenso	Data do evento	Vento mais intenso registrado (m/s)	Direção do vento (°)	Horário do Vento Intenso
21/08/2016	17,3	222	21 UTC	24/08/2015	10,7	235	10 UTC
18/11/2016	16,6	204	20 UTC	09/05/2014	10,6	164	07 UTC
04/06/2011	16,5	209	16 UTC	26/05/2011	10,4	185	22 UTC
27/04/2016	16,5	252	11 UTC	22/07/2011	10,1	182	15 UTC

07/06/2011	16,4	306	22UTC	12/09/2011	10,0	157	01 UTC
10/08/2011	16,0	107	06 UTC	01/12/2011	9,9	150	19 UTC
27/08/2015	16,0	112	10 UTC	02/05/2011	9,9	143	09 UTC
04/07/2011	14,9	199	02 UTC	23/11/2014	9,88	211	19 UTC
23/05/2016	14,7	302	14 UTC	12/05/2011	9,02	203	22 UTC
16/07/2016	14,7	299	19 UTC	21/04/2014	8,80	59	00UTC

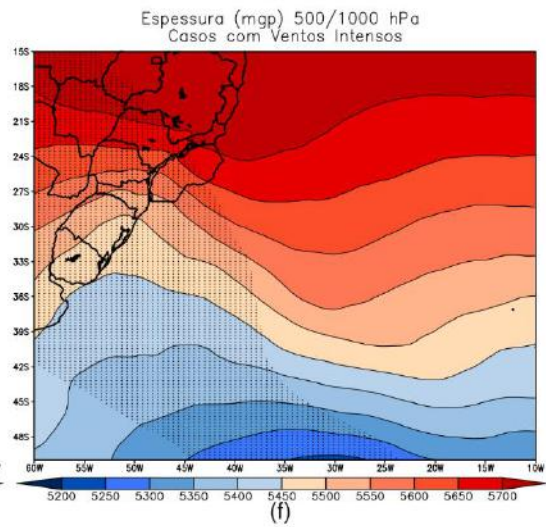
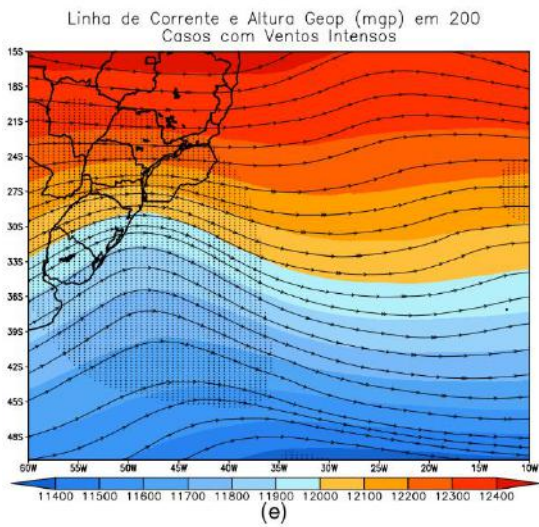
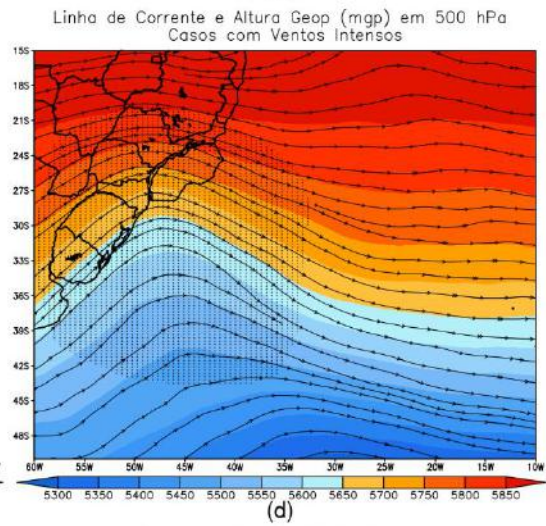
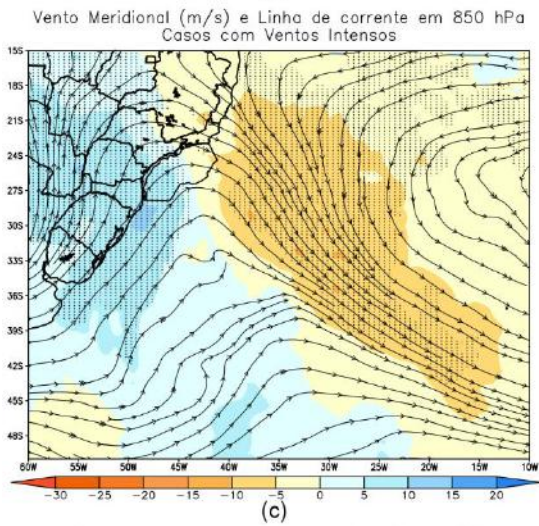
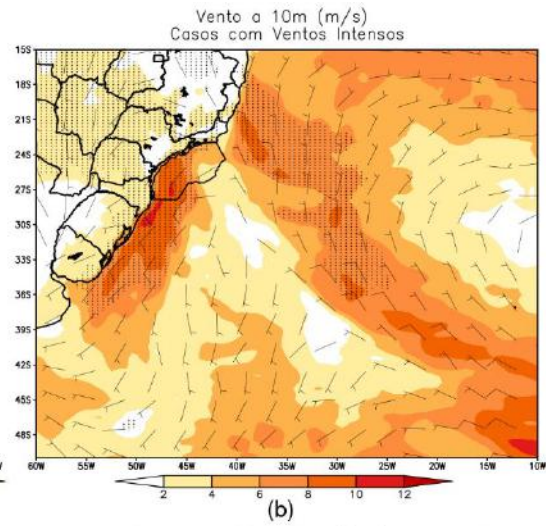
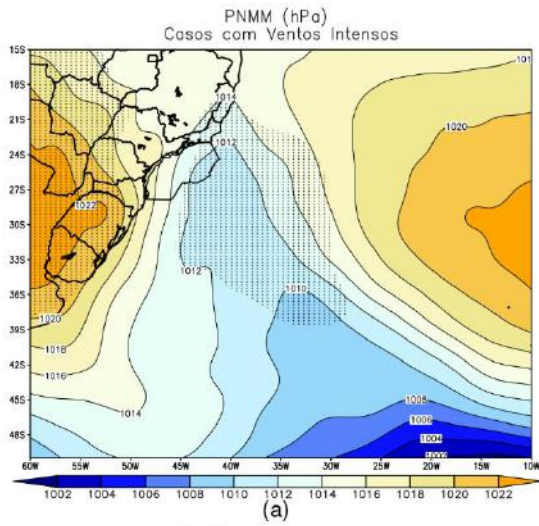
As análises dos compostos são elaboradas para os casos VINT, VMOD e para a diferença entre eles (VINT – VMOD). A Figura 4.1, a Figura 4.2 e a Figura 4.3 apresentam os campos de PNMM, V10M, Vento Meridional e Linha de corrente em 850 hPa, Altura Geopotencial em 500 hPa, Altura Geopotencial em 200 hPa, Espessura da camada entre os níveis de 1000 e 500 hPa, Td a 2 metros, Água Precipitável, Divergência do Vento em 925 hPa, Ômega em 500 hPa e Precipitação Diária Acumulada. Em todas as figuras, as áreas pontilhadas indicam onde há significância estatística ao nível de 95%, ou seja, áreas onde há um intervalo de confiança de no mínimo 95% de que o composto é representativo de cada caso.

A Figura 4.1 apresenta os resultados para os casos VINT. No campo de PNMM (Figura 4.1a), é possível observar o cavado frontal se estendendo meridionalmente sobre o Atlântico, atingindo o Norte da BS com pressão de 1012 hPa. Ademais, a alta pós-frontal atua sobre o continente, com pressão superior a 1022 hPa. Em ambos os sistemas, existe significância estatística. Nessas condições, um forte gradiente de pressão é observado sobre a BS, gerando ventos intensos registrados na boia de Santos. No campo de V10M (Figura 4.1b), nota-se ventos intensos e significativos paralelos a costa e sobre a bacia, como resposta ao gradiente de pressão observado nessa região. Esses ventos intensos de quadrante sul, na retaguarda da FF, também podem ser observados em 850 hPa (Figura 4.1c), com significância estatística, assim como as linhas de corrente que apresentam um cavado meridional sobre a BS e a alta pós-frontal sobre o continente. Em 500 hPa (Figura 4.1d), o cavado baroclínico alcança a região da BS e localiza-se a oeste do sistema em superfície, fornecendo suporte dinâmico para a intensificação dos sistemas. Essa mesma onda ainda é perceptível em altos níveis (Figura 4.1e), com significância estatística sobre o cavado em

ambos os níveis, indicando que os sistemas em VINT possuem forte baroclinia. A amplitude e a inclinação da onda frontal em médios e altos níveis intensifica o sistema em superfície, aumentando o gradiente de pressão, ocasionando os ventos intensos registrados na boia de Santos.

Observa-se, a partir da Figura 4.1f, que a FF está posicionada sobre a região da bacia, adentrando ao continente, sendo evidenciado pelo forte gradiente de espessura da camada entre 1000 e 500 hPa, Td (Figura 4.1g) e água precipitável (Figura 4.1h). Há significância estatística sobre o interior do continente e Sul do Brasil, onde observa-se o avanço de uma massa de ar mais fria (menor espessura) e seca (menor Td e pouca água precipitável). A posição da FF também pode ser identificada através dos campos de divergência do vento em baixos níveis (Figura 4.1i) e movimento vertical em 500 hPa (Figura 4.1j). Regiões com convergência de ventos e grandes valores negativos de ômega indicam regiões mais propensas à formação de nuvens de tempestades, como as encontradas em FFs.

O campo de Divergência do Vento em 925 hPa (Figura 4.1i) mostra regiões de convergência em baixos níveis, sobre o oceano, onde há significância estatística, e em alguns pontos no continente. No composto de movimento vertical em 500 hPa (Figura 4.1j), nota-se maior área com ômega negativo próximo ao continente, com significância estatística a leste da BS, região similar à da convergência em baixos níveis. Esses resultados corroboram os fortes gradientes de espessura, Td e água precipitável, nas Figura 4.1f, Figura 4.1g e Figura 4.1h. Entretanto, há um maior acumulado de precipitação sobre o oceano, a nordeste da bacia, e sobre o Sul da BS (Figura 4.1k).



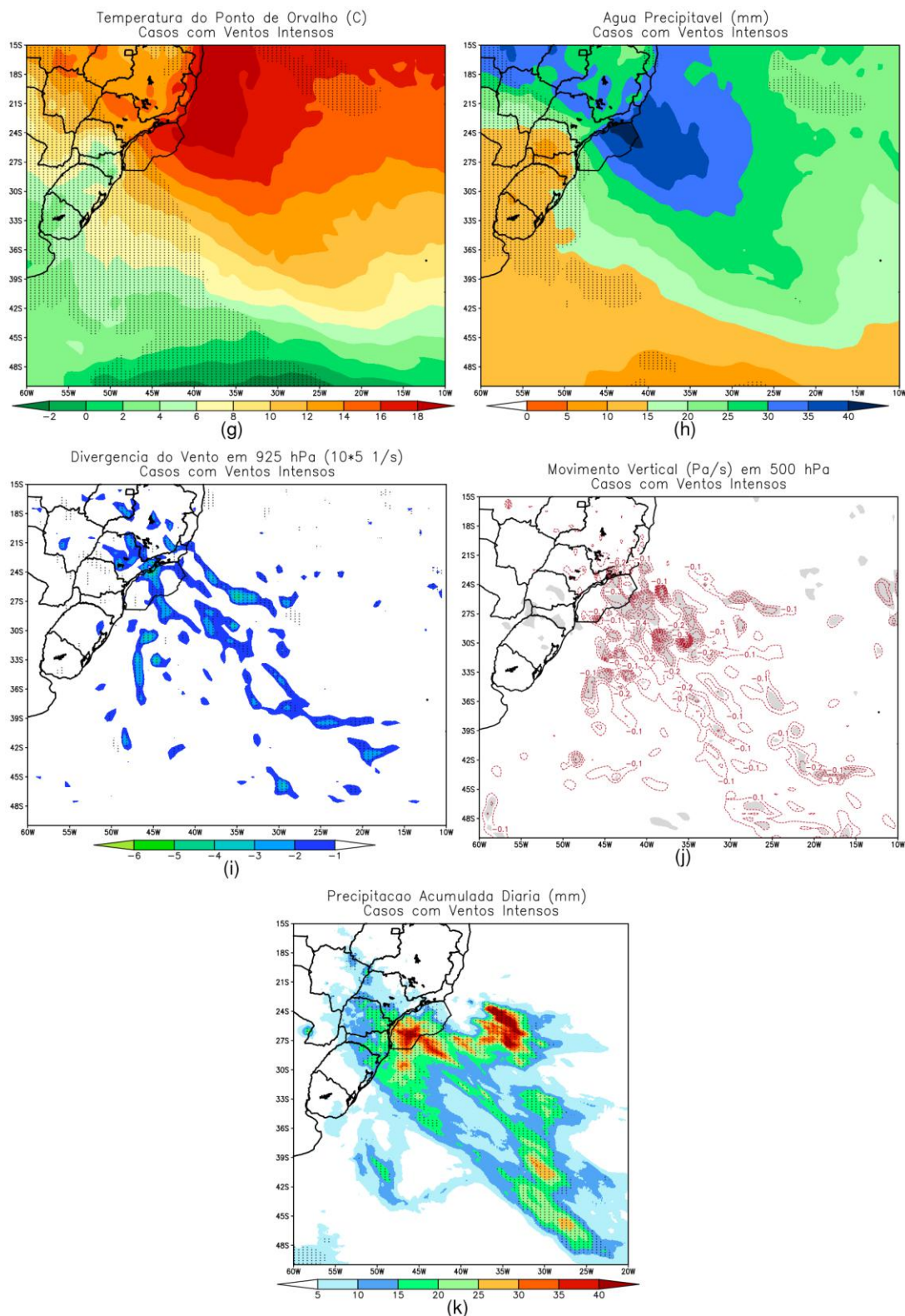


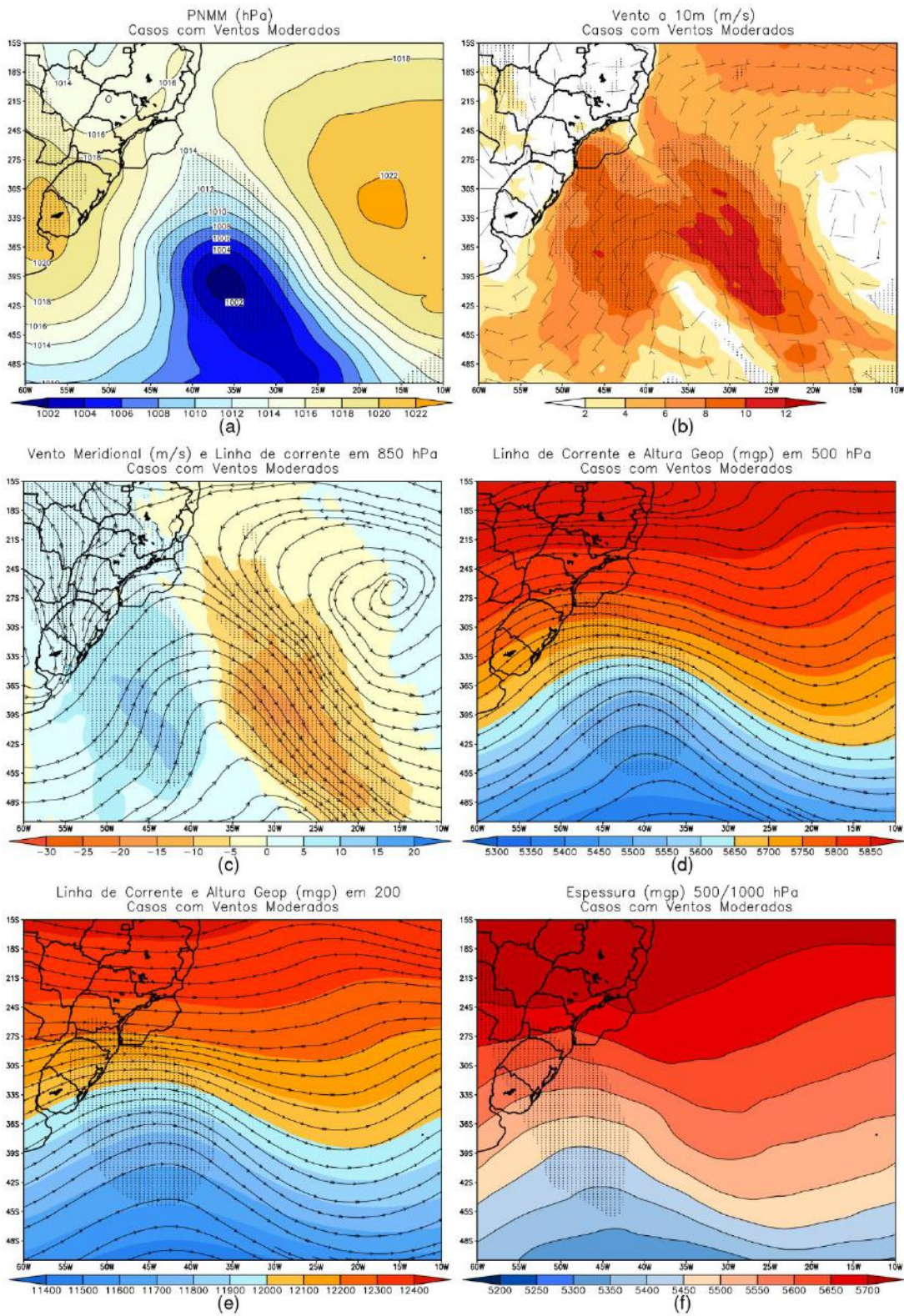
Figura 4.1 - Compostos com 10 casos de VINT usando a reanálise do CFSR para os campos: (a) PNMM (hPa, contorno e sombreado colorido); (b) V10M (m/s, sombreado); (c) Vento Meridional e Linha de Corrente em 850 hPa (m/s, sombreado colorido); (d) Altura Geopotencial em 500 hPa (mcp, sombreado colorido); (e) Altura Geopotencial em 200 hPa (mcp, sombreado colorido); (f) Espessura da camada entre 1000 e 500 hPa (mcp, contorno e sombreado colorido); (g) Td a 2 metros (°C, sombreado colorido); (h) Água precipitável (mm, sombreado colorido); (i) Divergência do vento em 925 hPa (10^5 s^{-1} , sombreado colorido); (j) Movimento vertical em 500 hPa (Pa/s, contorno tracejado). Dados do MERGE utilizados para o campo de: (k) Precipitação acumulada diária (mm, sombreado colorido). Áreas com significância estatística de 95% (pontilhado) calculado com o teste t-student.

A Figura 4.2 apresenta os resultados para os casos VMOD. No campo de PNMM (Figura 4.2a), há um centro de baixa pressão sobre o oceano, com significância estatística mostrando que a maior parte dos casos são semelhantes nesta região. No entanto, o cavado frontal que atinge a BS e a alta pós-frontal sobre o continente não são tão intensos quanto em VINT, gerando um gradiente de pressão mais fraco sobre a bacia. Isso colaborou para que os ventos registrados na boia de Santos não fossem tão intensos. Fato esse verificado na Figura 4.2b, onde os ventos mais intensos e significativos estão posicionados sobre o oceano, próximo ao centro de baixa pressão observado na Figura 4.2a. Nota-se também ventos significativos ao Sul da bacia, porém com menor intensidade. Essa mesma configuração ainda é observada em 850 hPa (Figura 4.2c). Da mesma forma, as linhas de corrente apresentam um cavado com pouca extensão meridional sobre o oceano, mais a leste e com menor amplitude do que em VINT. Em 500 hPa (Figura 4.2d), o cavado baroclínico está próximo ao continente, porém com pouca amplitude, alcançando apenas o Sul da bacia. Em altos níveis (Figura 4.2e), o sinal do cavado não é tão nítido e não alcança a BS. Em médios e altos níveis existe significância estatística sobre o cavado, indicando que a maioria das ondas frontais em VMOD ficaram mais restritas ao Sul da bacia, assim a atuação dos sistemas sobre a BS não foi tão intensa.

As massas de ar frio e seco, associadas as FFs em VMOD, avançam sobre o oceano enquanto as massas de ar quente e úmida ficam localizadas sobre a região Norte da bacia. O encontro dessas massas, identificado pelo gradiente de espessura da camada entre 1000 e 500 hPa, Td e Água Precipitável (Figura 4.2f, Figura 4.2g e Figura 4.2h, respectivamente), ocorre sobre o oceano e não avança sobre o continente. Essas massas de ar não foram tão frias quanto em VINT, fazendo com que o gradiente de temperatura não fosse tão intenso, enquanto o gradiente de Td e Água Precipitável estão similares a VINT, com significância estatística restrita ao Sul do Brasil.

No campo de Divergência do Vento em 925 hPa (Figura 4.2i), fica evidente a convergência em baixos níveis para o centro ciclônico sobre o oceano, observado na Figura 4.2a. No composto de movimento vertical em 500 hPa (Figura 4.2j), nota-se maior área com ômega negativo sobre o oceano, próximo a região de baixa pressão citada anteriormente. Todos esses campos corroboram com a posição das FFs indicando que, na maioria dos casos, as frentes foram mais oceânicas, com uma trajetória mais zonal. Além disso, o maior acumulado de precipitação encontra-se ao sul do centro de baixa pressão sobre o oceano. Ao

contrário do observado em VINT, não há grande quantidade de precipitação acumulada sobre a BS (Figura 4.2k).



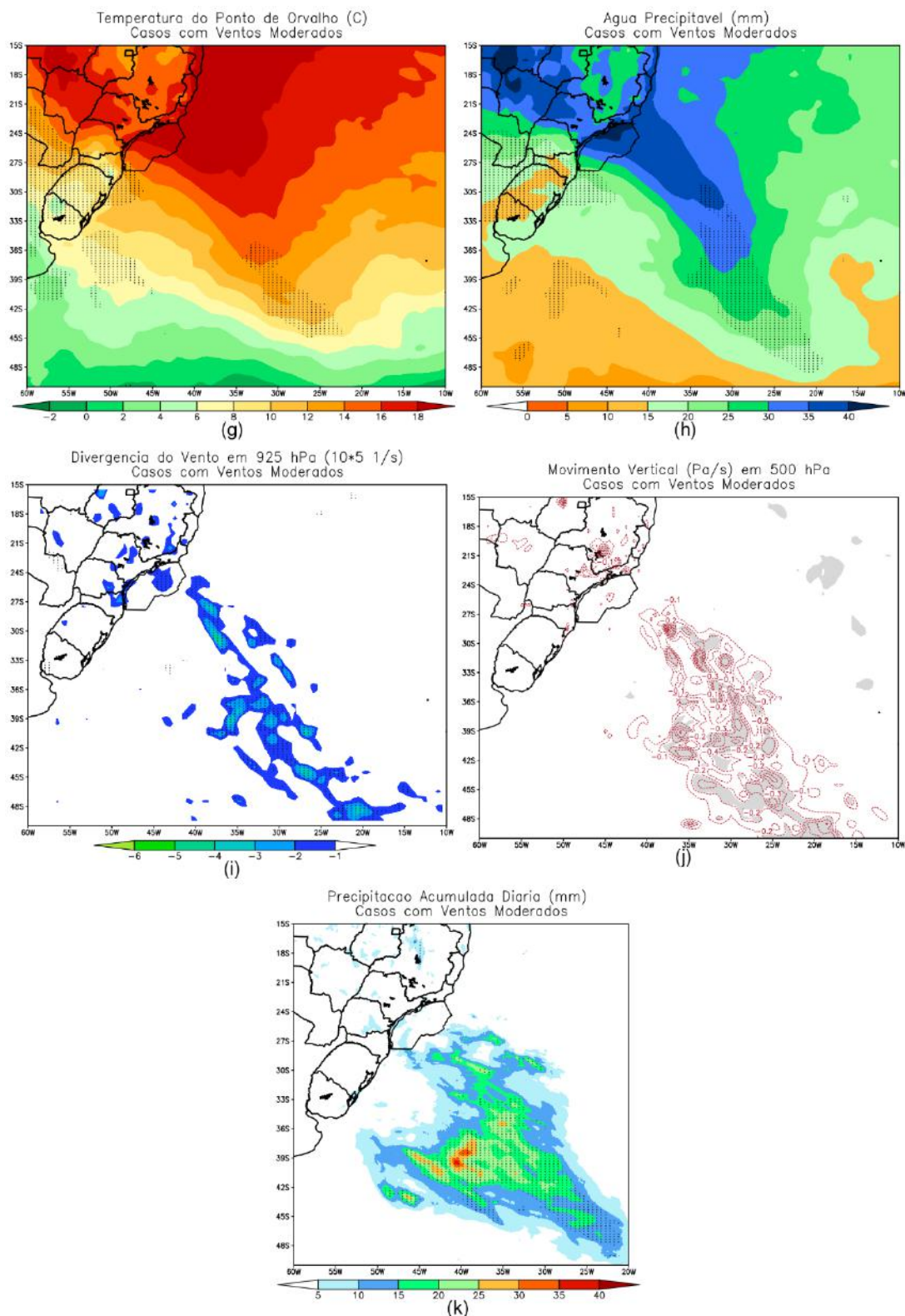


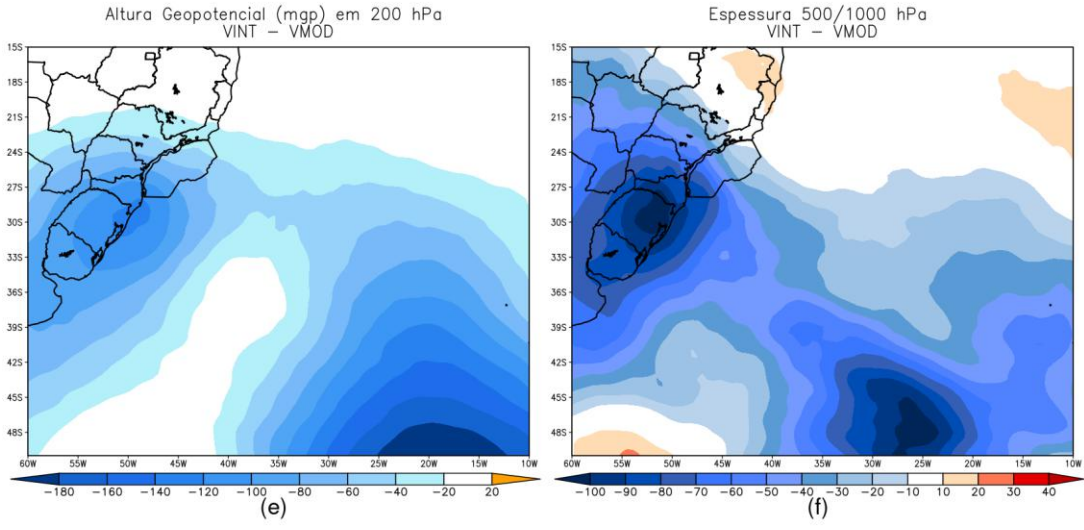
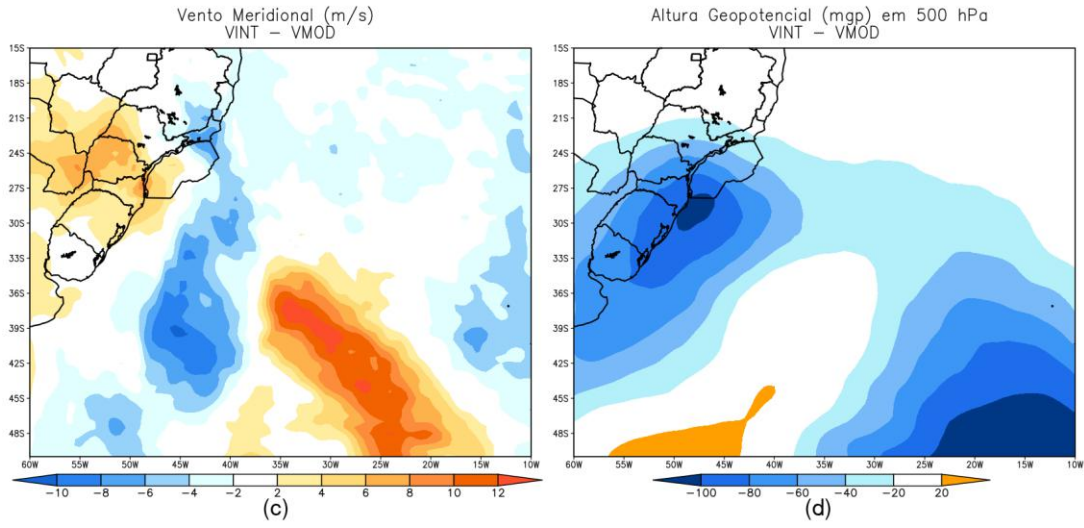
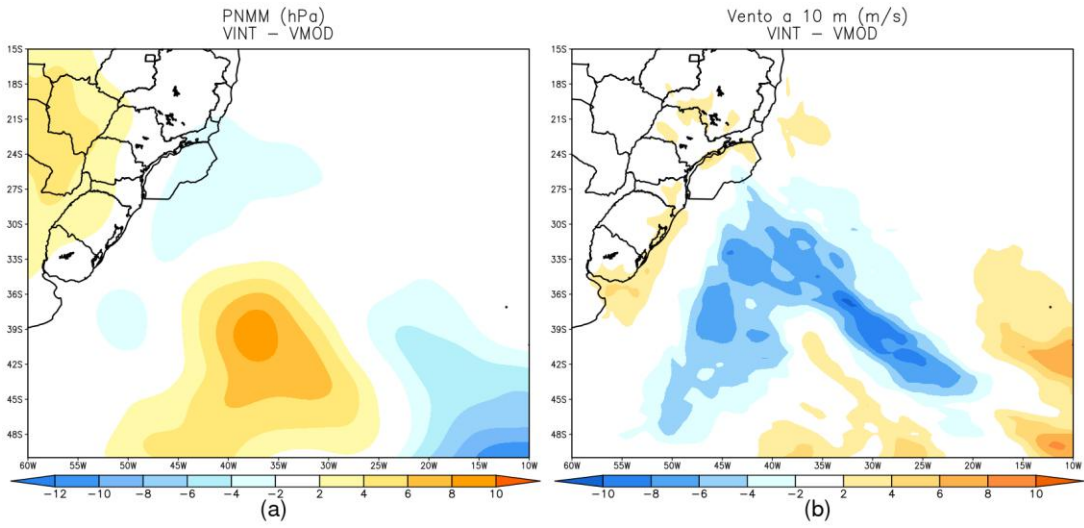
Figura 4.2 - Compostos com 10 casos de VMOD usando a reanálise do CFSR para os campos: (a) PNMM (hPa, contorno e sombreado colorido); (b) V10M (m/s, sombreado); (c) Vento Meridional e Linha de Corrente em 850 hPa (m/s, sombreado colorido); (d) Altura Geopotencial em 500 hPa (mcp, sombreado colorido); (e) Altura Geopotencial em 200 hPa (mcp, sombreado colorido); (f) Espessura da camada entre 1000 e 500 hPa (mcp, contorno e sombreado colorido); (g) Td a 2 metros (°C, sombreado colorido); (h) Água precipitável (mm, sombreado colorido); (i) Divergência do vento em 925 hPa (10^5 s^{-1} , sombreado colorido); (j) Movimento vertical em 500 hPa (Pa/s, contorno tracejado). Dados do MERGE utilizados para o campo de: (k) Precipitação acumulada diária (mm, sombreado colorido). Áreas com significância estatística de 95% (pontilhado) calculado com o teste t-student.

Nos campos de diferença entre os compostos (Figura 4.3) nota-se que, sobre a BS, a pressão é mais alta em VMOD do que em VINT (entre 2 e 4 hPa) enquanto que, sobre o continente, VINT é mais alta – até 6 hPa (Figura 4.3a). Essa diferença entre os compostos confirma o forte gradiente de pressão gerado sobre a BS, em VINT. Já em VMOD, o maior gradiente está sobre o oceano, onde encontra-se os ventos mais intensos, o que é observado na Figura 4.3b. Os ventos mais intensos observados em VINT estão localizados paralelos à costa e ao Norte da BS, próximo a região costeira (Figura 4.3b). Sobre o continente e Sul da bacia, os ventos em 850 hPa são mais intensos em VINT, como resposta ao forte gradiente de pressão (Figura 4.3c). Em 500 hPa (Figura 4.3d), os valores de altura geopotencial em VMOD são maiores do que em VINT, indicando que, em casos com ventos intensos, o cavado baroclínico é mais profundo e alcança a região de estudo, dando suporte dinâmico para que os sistemas em superfície sejam mais intensos, enquanto em VMOD, o cavado não é tão intenso. Em altos níveis (Figura 4.3e), a diferença entre os compostos é ainda mais forte confirmando que, as ondas frontais são mais pronunciadas nos sistemas em VINT. Já em VMOD, essas ondas não são tão intensas e apresentam sinais mais fracos, próximo à BS, em níveis mais altos.

A forte diferença entre os compostos nos campos de espessura e Td (Figura 4.3f e Figura 4.3g, respectivamente) indica que as massas de ar pós-frontais em VINT são mais frias e secas do que VMOD, e adentram mais ao continente. O composto de água precipitável também possui maiores valores de VMOD sobre o continente, confirmando que as massas de ar que avançam com os sistemas frontais são mais secas em VINT (Figura 4.3h). Além disso, há uma maior quantidade de vapor na atmosfera sobre o interior do Brasil nos compostos de VMOD, visto que a maioria dos casos ocorreram em uma estação de transição (outono) enquanto em VINT, ocorreram no inverno (estação seca) - vide Tabela 4.1.

O composto de divergência do vento em baixos níveis mostra forte convergência sobre o oceano em VMOD, o que sugere que as FFs nesses casos não adentraram ao continente, passando apenas sobre a BS. Já em VINT, a convergência é mais forte próximo ao continente, indicando que as FFs atuaram sobre o continente e, conseqüentemente, sobre a BS (Figura 4.3i). Já o composto de movimento vertical mostra ômega mais intenso em VINT, especialmente próximo ao continente, do que em VMOD (Figura 4.3j). Esses fatos corroboram com os compostos de altura geopotencial, que sugerem que há maior suporte dinâmico, próximo ao continente, para os sistemas em VINT, e sobre o oceano, em VMOD. Além disso, o composto de precipitação diária acumulada mostra maior quantidade de

precipitação sobre a BS em VINT. Enquanto em VMOD, o maior acumulado encontra-se sobre o oceano (Figura 4.3k). Em ambos os compostos havia grande quantidade de umidade sobre a área de estudo, entretanto a falta de forçante (convergência em baixos níveis) próximo a BS, em VMOD, contribuiu para que os sistemas apresentassem características distintas.



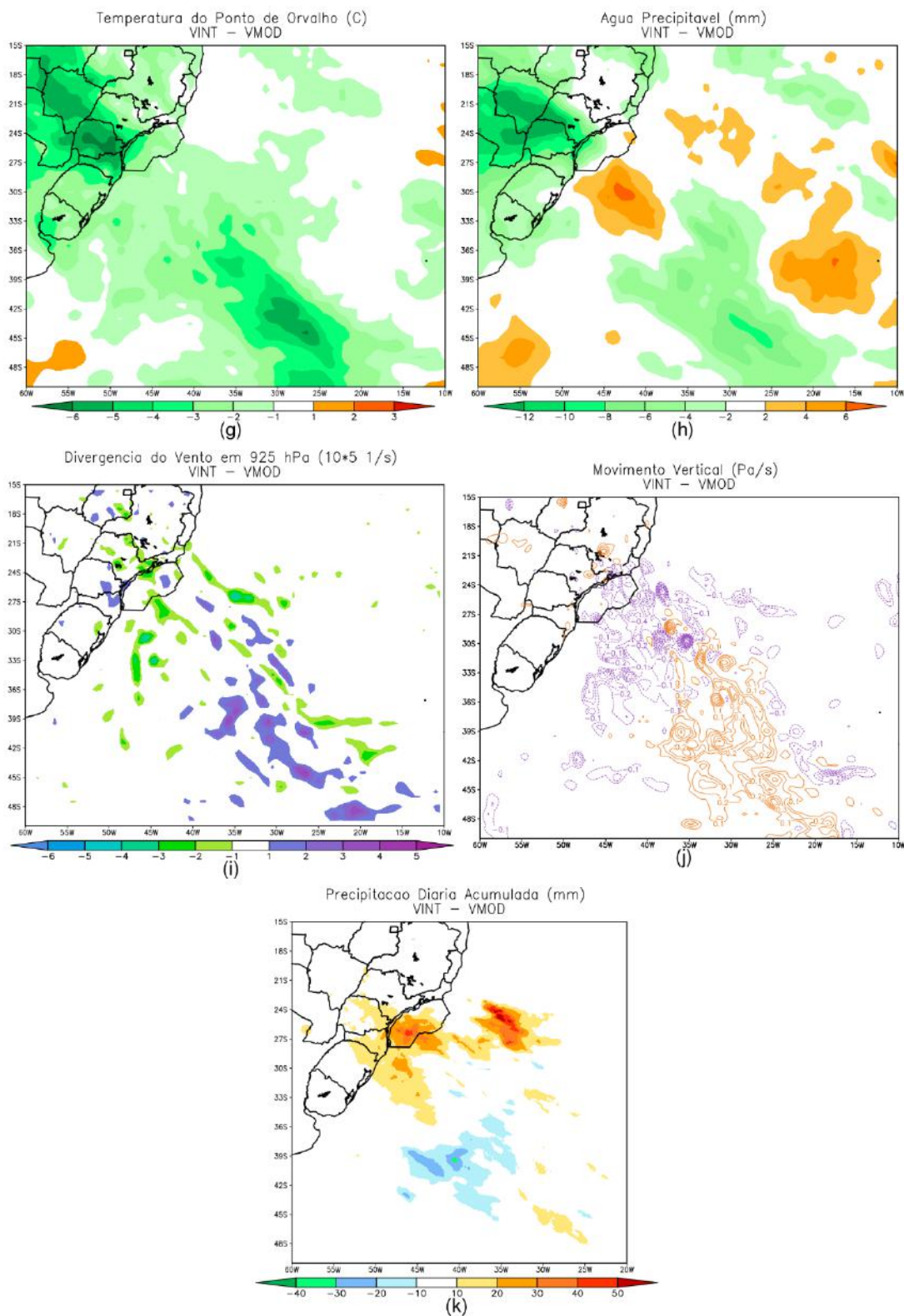


Figura 4.3 - Compostos de diferença entre VINT e VMOD usando a reanálise do CFSR para os campos: (a) PNMM (hPa); (b) V10M (m/s); (c) Vento Meridional e Linha de Corrente em 850 hPa (m/s, sombreado colorido); (d) Altura Geopotencial em 500 hPa (mgp); (e) Altura Geopotencial em 200 hPa (mgp); (f) Espessura da camada entre 1000 e 500 hPa (mgp); (g) Td a 2 metros (°C); (h) Água precipitável (mm); (i) Divergência do vento em 925 hPa (10^5 s^{-1}); (j) Movimento vertical em 500 hPa (Pa/s). Dados do MERGE utilizados para o campo de: (k) Precipitação Acumulada Diária (mm, sombreado colorido).

A Figura 4.4 mostra a trajetória dos centros dos ciclones associados aos SFs analisados nesse trabalho. Cada cor representa um caso dos compostos. A posição dos mínimos de pressão é marcada a cada 6 horas, tendo como ponto inicial próximo ao continente e ponto final sobre o oceano. Em VINT (Figura 4.4a) os ciclones estão mais afastados entre si, o que justifica os compostos, de PNMM por exemplo, não terem um centro de baixa pressão médio bem marcado, e sim um cavado (composto VINT – Figura 4.1a). Em VMOD (Figura 4.4b) os ciclones estão concentrados ao sul de 30°S e possuem trajetórias similares, fazendo com que os compostos, de PNMM e Divergência do Vento por exemplo, sejam mais definidos, sendo assim possível identificar um centro de baixa pressão na média de todos os casos (composto VMOD – Figura 4.2a).

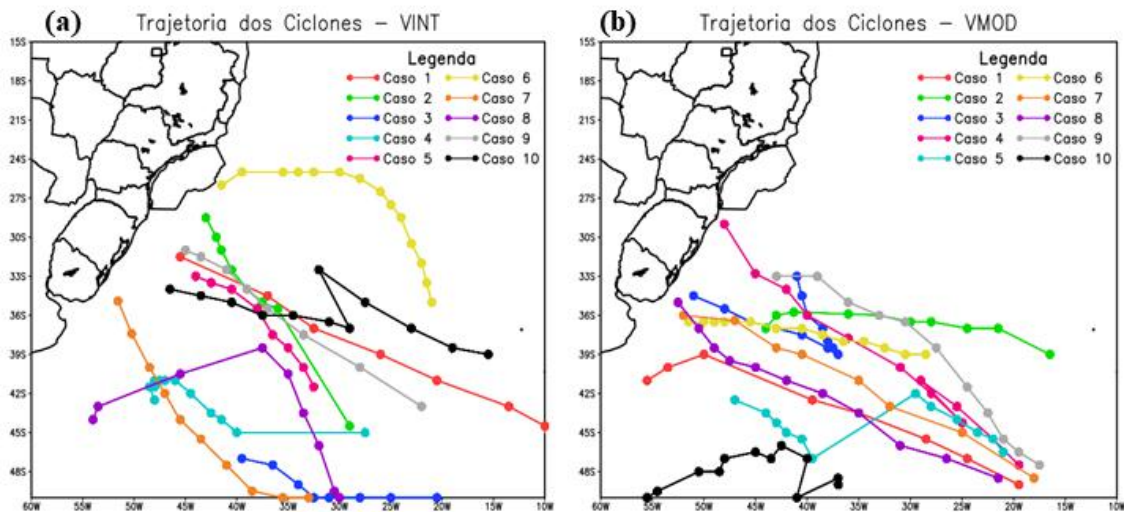


Figura 4.4 - Trajetória dos Ciclones - CFSR. (a) Casos VINT; (b) Casos VMOD.

A fim de proporcionar uma visão global dos padrões VINT e VMOD, foram construídos campos de anomalias de altura geopotencial em 500 hPa (Figura 4.5) e de OLR e linha de corrente em 200 hPa (Figura 4.6). O composto de anomalia de geopotencial em 500 hPa mostra em VINT (Figura 4.5a) anomalias negativas significativas, em latitudes médias, mais intensas do que em VMOD (Figura 4.5b). Em VMOD, uma alternância entre anomalias positivas e negativas nessas latitudes está mais evidente (Figura 4.5b). Sobre a costa Leste da AS, é possível observar uma anomalia negativa significativa localizada sobre o continente, alcançando a BS, e um amplo cavado que se estende desde o Sul da AS alcançando o Sudeste do Brasil (Figura 4.5a). Em VMOD (Figura 4.5b), também há uma anomalia negativa significativa próxima à AS, no entanto, essa localiza-se mais sobre o oceano, um pouco afastada do continente. Além disso, o cavado encontra-se sobre o oceano

e possui menor amplitude do que em VINT. Em ambos os compostos, observa-se um trem de ondas do Pacífico ao Atlântico, no entanto os centros anômalos em VMOD aparentam estar deslocados para leste, em relação à VINT (Figura 4.5). Isso pode ser explicado pela diferença nos números de onda, em latitudes mais altas, observados na Figura 4.5. Enquanto em VINT (Figura 4.5a) há um padrão de número de onda mais baixo (onda 2), em VMOD (Figura 4.5b) há um número de onda mais alto (onda 4). Esse padrão também pode ser observado na Figura 4.6, onde nota-se anomalias ciclônicas e anticiclônicas de linha de corrente em 200 hPa. Sobre o oceano em 20°S, próximo ao Nordeste da Austrália, nota-se um sinal oposto de anomalia de OLR entre os compostos. Em VINT (Figura 4.6a), há uma região de anomalia negativa de OLR significativa sobre o Atlântico, alcançando a BS. Essa região corrobora com a posição da FF observada nos compostos de VINT (Figura 4.1). Além disso, há uma anomalia ciclônica sobre a costa do Sul do Brasil, a oeste da convecção. Já em VMOD (Figura 4.6b), a região de anomalia negativa de OLR significativa encontra-se sobre o oceano, afastada do continente, corroborando com a posição média das FFs observada na Figura 4.2. Ademais, a anomalia ciclônica encontra-se mais afastada da costa e menos intensa, em relação a VINT (Figura 4.6). Esses resultados sugerem que características remotas podem influenciar o padrão de circulação, deslocando a passagem dos sistemas frontais sobre a região da AS e Atlântico adjacente, com isso, afetando a BS. Esta influência remota na AS, através de trens de onda já foi discutida por diversos autores (COELHO *et al.*, 2016; VASCONCELLOS e CAVALCANTI, 2010; VASCONCELLOS e SOUZA, 2020).

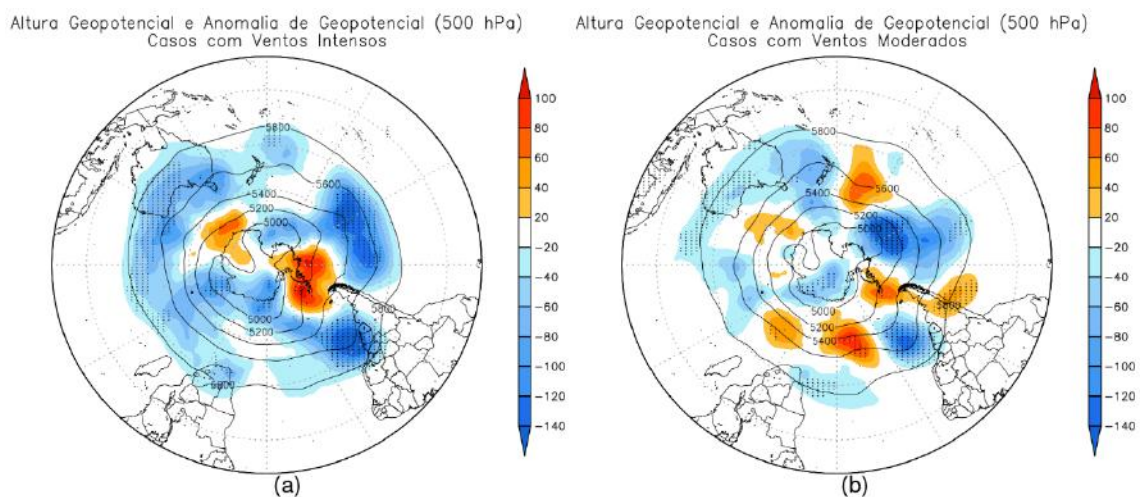
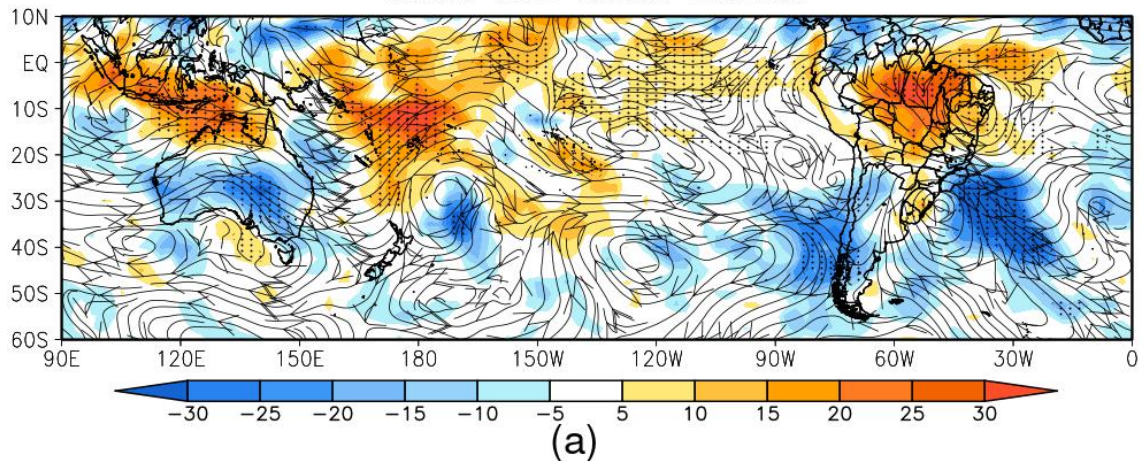


Figura 4.5 - Composto de Altura Geopotencial (mcp, linhas contínuas) e anomalia do geopotencial (mcp, sombreado colorido) em 500 hPa, usando a reanálise do CFSR para: (a) Casos VINT; (b) Casos VMOD. Áreas com significância estatística de 95% (pontilhado) calculado com o teste t-student para anomalia do geopotencial.

Anomalia de OLR e Anomalia de Linha de Corrente em 200 hPa
Casos com Ventos Intensos



Anomalia de OLR e Anomalia de Linha de Corrente em 200 hPa
Casos com Ventos Moderados

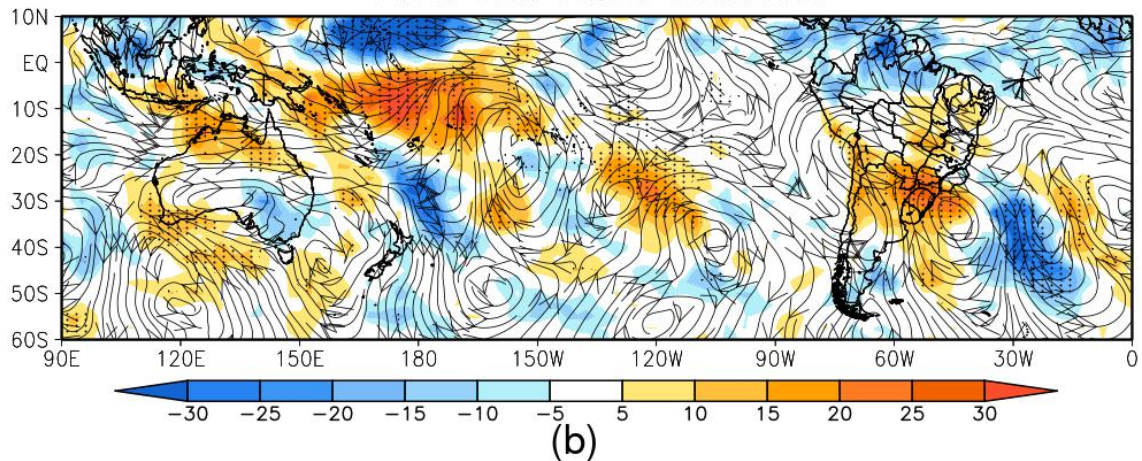


Figura 4.6 - Compostos de Anomalia de OLR (W/m^2 , sombreado colorido), utilizando os dados da NOAA, e Anomalia de Linha de Corrente em 200 hPa, usando a reanálise do CFSR para: (a) Casos VINT; (b) Casos VMOD. Áreas com significância estatística de 95% (pontilhado) calculado com o teste t-student para anomalia de OLR.

As principais características encontradas para os compostos de VINT são: cavado frontal alcançando a BS e alta pós frontal intensa, ocasionando em forte gradiente de pressão sobre a bacia. Cavado baroclínico em médios e altos níveis, à oeste da bacia, bem pronunciado. Forte gradiente de espessura, água precipitável e Td, indicando a posição da FF e corroborando com a convergência em baixos níveis. Grande acumulado de precipitação sobre a BS. Além disso, a massa de ar que avança sobre o Sul do Brasil é mais fria e seca, enquanto a massa de ar sobre o interior do continente, ao Norte da bacia, é mais quente e úmida, intensificando o gradiente. Para os compostos de VMOD, o cavado frontal que alcança a BS e a alta pós frontal que avança sobre o continente não são tão intensos,

ocasionando em um gradiente de pressão mais fraco. Cavado baroclínico, à oeste do sistema em superfície, com menor amplitude em médios níveis e menos pronunciado em altos níveis. A massa de ar que avança sobre o Sul do Brasil não é tão fria e seca, e sobre o interior do continente e Norte da bacia há uma massa de ar mais úmida e quente. Isso contribui para que o gradiente de espessura, água precipitável e Td não seja tão forte. Além disso, há pouco acumulado de precipitação sobre a BS.

4.2. Estudos de Casos

Os estudos de casos foram selecionados a partir dos dados da boia de Santos para o período de 03/05/2018 a 12/07/2018. Os critérios para seleção das frentes e os limiares de VINT e VMOD foram os mesmos utilizados nos compostos. O primeiro caso foi uma FF que passou pela BS no dia 03/07/2018, ocasionando ventos de 19,78 m/s (38,5 kn) registrados na boia de Santos às 16UTC. No segundo caso, a FF passou pela BS no dia 12/05/2018, ocasionando ventos de 9,45 m/s (18,4 kn), que foram registrados na boia às 15UTC. Sendo assim, o primeiro é um caso de VINT (acima do limiar do percentil 99) e será denominado como Caso-INT, e o segundo, VMOD (entre os limiares dos percentis 90 e 70), será chamado Caso-MOD. Os campos foram gerados para o horário mais próximo da ocorrência do vento mais forte.

No campo de PNMM, nota-se no Caso-INT (Figura 4.7a) um SF com o cavado de pressão próximo ao Norte da BS, similar ao cavado visto no composto VINT (Figura 4.1a), com valor de 1016 hPa, indicando a posição da FF. O centro de baixa pressão de 964 hPa está localizado sobre o oceano em, aproximadamente, 48°S de latitude e 047°O de longitude. A alta pós-frontal atua sobre o continente, em torno de 060°O, com valor de 1024 hPa (Figura 4.7a). Assim como observado na Figura 4.1a, no Caso-INT nota-se a alta pós frontal e o cavado frontal intensos. Nessas condições, é observado um forte gradiente de pressão sobre a BS, gerando os ventos intensos que foram registrados na boia de Santos e são observados na Figura 4.7c. No Caso-MOD (Figura 4.7b), nota-se o centro de baixa pressão de 980 hPa sobre o oceano, próximo a 42°S de latitude e 035°O de longitude, mais fraco do que no Caso-INT. O cavado frontal também alcança o Norte da BS, no entanto mais fraco do que no Caso-INT, com valor de 1012 hPa. Ademais, a alta pós frontal avança sobre o continente (em 30°S de latitude e 058°O de longitude) com valor de 1016 hPa em seu centro. Assim como visto no composto de VMOD (Figura 4.2a), os centros de alta e baixa pressão no Caso-MOD, não são tão intensos quanto no Caso-INT, ocasionando em um gradiente de pressão mais fraco

sobre a BS, responsável pelos ventos moderados registrados na boia (Figura 4.7d). O campo de V10M mostra os ventos mais intensos próximo ao centro de baixa pressão, em ambos os casos, que está sobre o oceano, onde o gradiente de pressão é maior (Figura 4.7c,d).

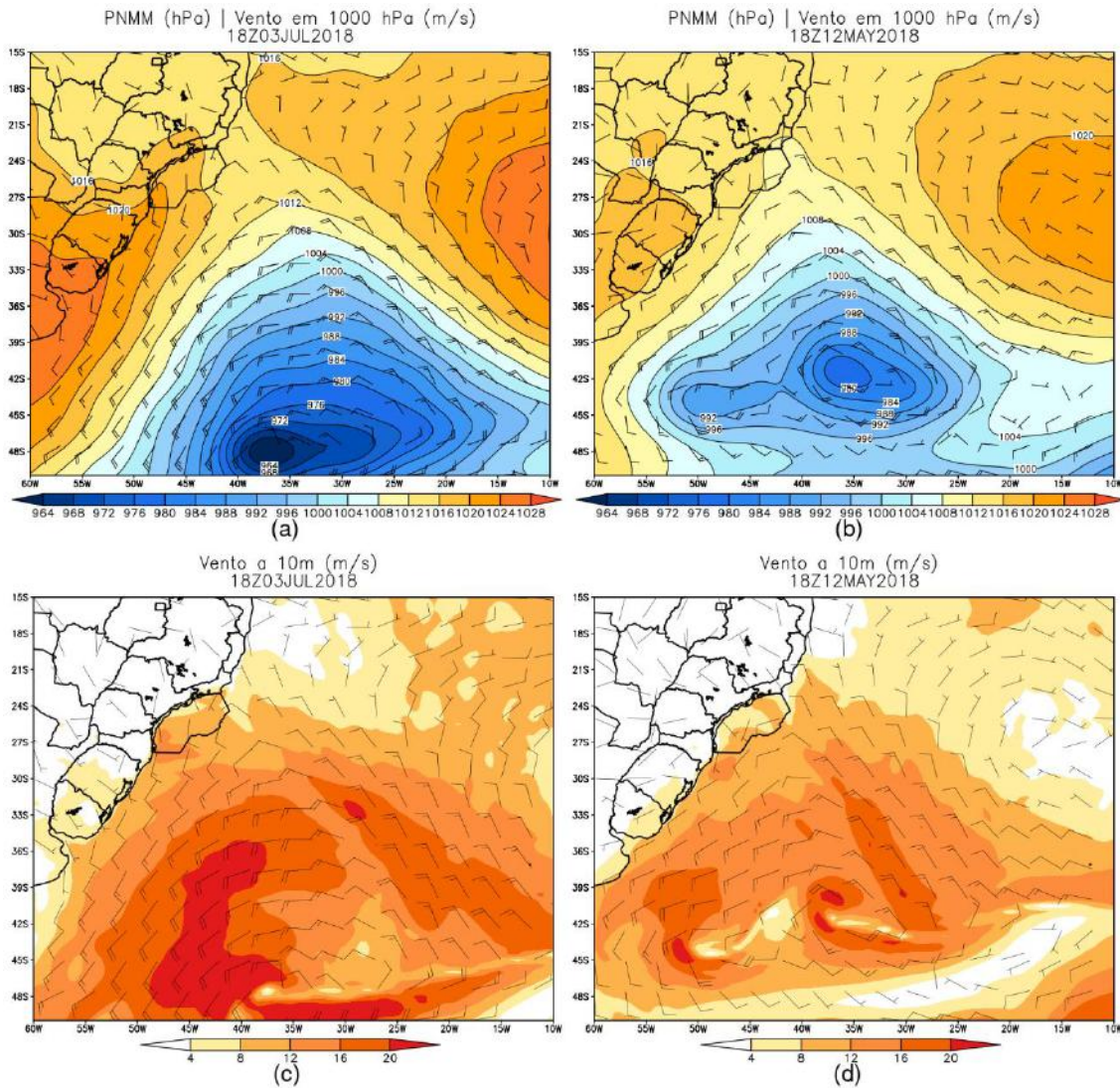


Figura 4.7 - Campos de PNMM (hPa, contorno e sombreado colorido) e Vento em 1000 hPa (m/s, barbela) – Linha superior – e V10M (m/s) – Linha inferior – gerados para: (a) e (c) Caso-INT – VINT (18Z do dia 03/07/2018); (b) e (d) Caso-MOD – VMOD (18Z do dia 12/05/2018).

Os ventos de quadrante sul, na retaguarda da FF, também podem ser observados em 850 hPa, sobre a BS, em ambos os casos (Figura 4.8). Porém, no Caso-INT, o vento meridional é mais forte, devido ao forte gradiente de pressão, e abrange uma área mais extensa do que no Caso-MOD (Figura 4.8a). Assim como nos compostos (Figura 4.1c e Figura 4.2c), as linhas de corrente no Caso-INT apresentam um amplo cavado abrangendo a BS e a alta pós-frontal sobre o continente (Figura 4.8a). Enquanto no Caso-MOD, o cavado está localizado sobre o oceano, alcançando o Sul da BS (Figura 4.8b).

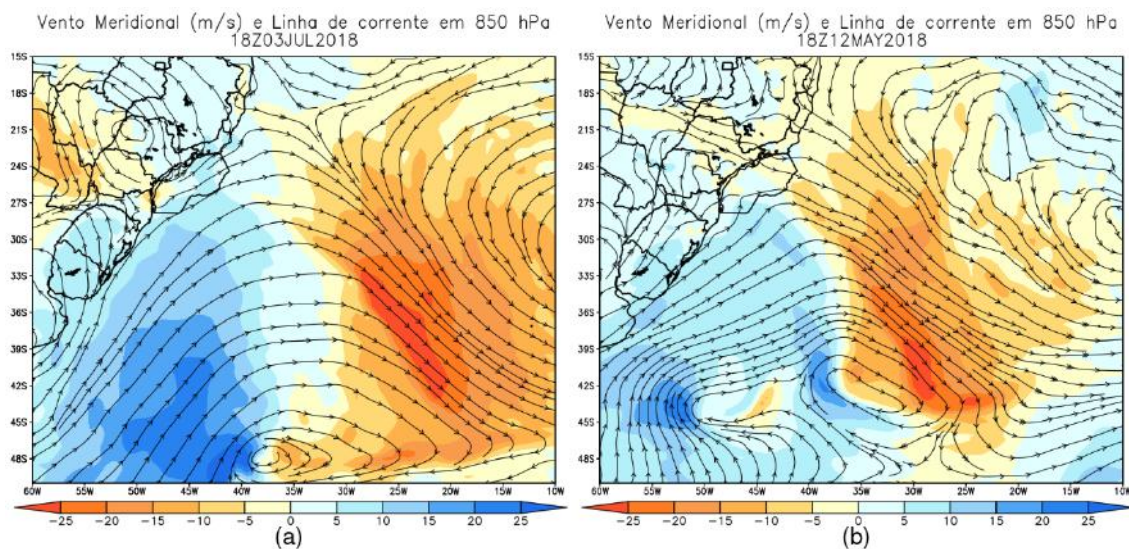


Figura 4.8 - Campos de Linha de corrente e Vento Meridional em 850 hPa (m/s, sombreado colorido) gerados para: (a) Caso-INT – VINT (18z do dia 03/07/2018); (b) Caso-MOD – VMOD (18z do dia 12/05/2018).

Em médios e altos níveis, o cavado baroclínico do Caso-INT é mais profundo e está localizado a leste da BS, sobre o oceano, porém, para esse horário, o sistema encontra-se em oclusão, (Figura 4.9a e Figura 4.9c). Esse cavado meridional, de grande amplitude e profundo, é uma das principais características observadas nos compostos em VINT (Figura 4.1d e Figura 4.1e). No Caso-MOD (Figura 4.9b e Figura 4.9d), o cavado baroclínico também está sobre o oceano, a leste da BS, porém possui menor amplitude e intensidade que no Caso-INT (Figura 4.9a e Figura 4.9c). Essas características de cavado com menor amplitude e intensidade mais fraca em níveis altos são similares às encontradas em VMOD (Figura 4.2d e Figura 4.2e).

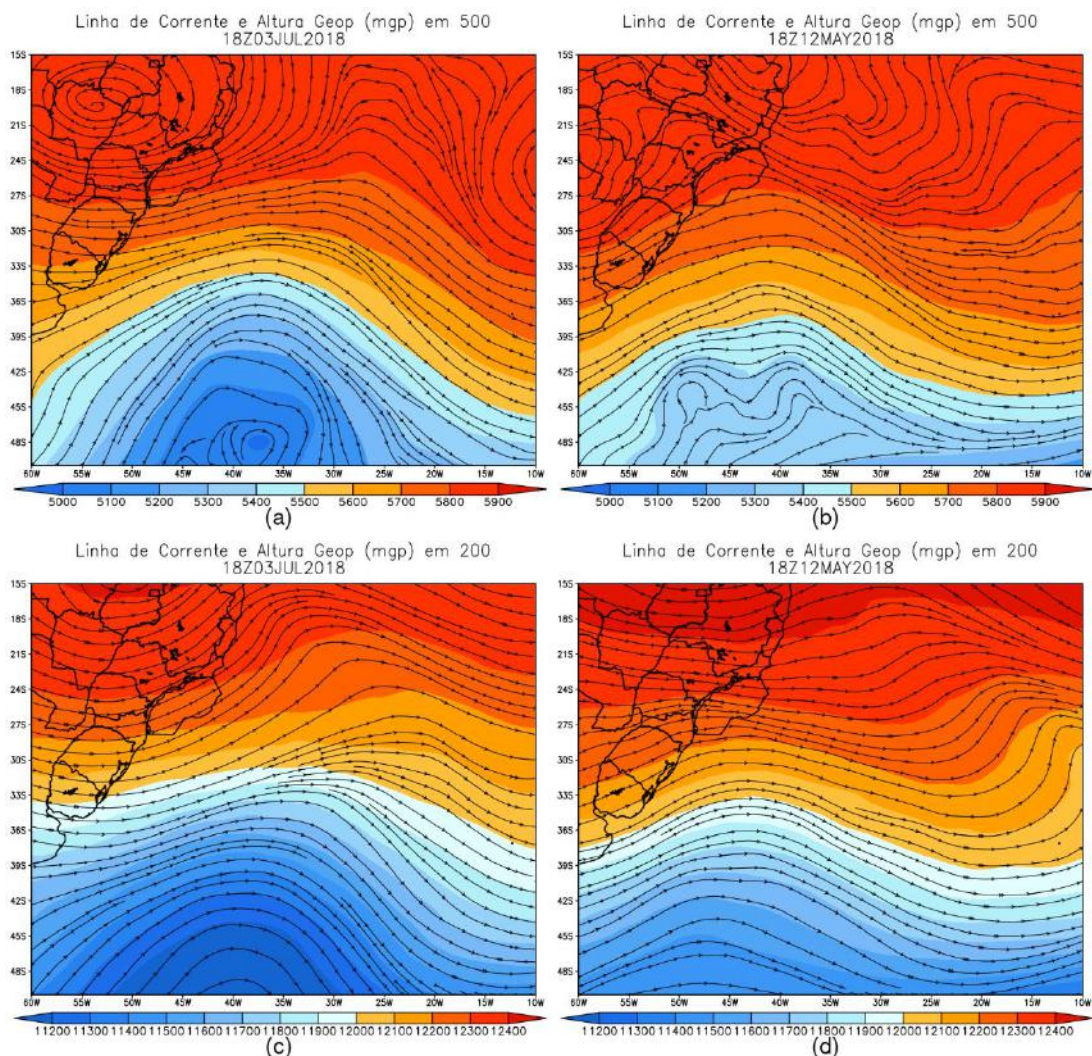


Figura 4.9 - Campos de Linha de corrente e Altura Geopotencial (mcp, sombreado colorido) nos níveis de 500 hPa (Linha superior) e 200 hPa (Linha inferior) gerados para: (a) e (c) Caso-INT – VINT (18z do dia 03/07/2018); (b) e (d) Caso-MOD – VMOD (18z do dia 12/05/2018).

Como pode-se observar na Figura 4.10, seguindo o cavado de pressão, a FF está localizada sobre o oceano e atinge o Norte da BS em ambos os casos, o que é evidenciado pelo forte gradiente de espessura da camada entre 1000 e 500 hPa e Td a 2 metros (Figura 4.10a e Figura 4.10c). Comparando os dois casos, o ar frio na retaguarda da FF é mais frio e mais seco no Caso-INT. Entretanto o ar quente na porção dianteira da FF é mais úmido e quente no Caso-MOD (Figura 4.10b e Figura 4.10d). A diferença entre as massas de ar na dianteira e retaguarda da FF observada no composto de VINT (Figura 4.1f e Figura 4.1g), gera um forte gradiente de espessura, Td, água precipitável e pressão, também é observada no Caso-INT (Figura 4.10 – coluna da esquerda). Seguindo o cavado da pressão, na dianteira do gradiente de espessura, há uma grande quantidade de água precipitável, especialmente no Caso-MOD, indicando a posição da FF em ambos os casos, o que corrobora com os campos

anteriores (Figura 4.10e e Figura 4.10f). Também há uma grande quantidade de água precipitável sobre o interior do continente no Caso-MOD, o que é também visto no composto de VMOD (Figura 4.2h).

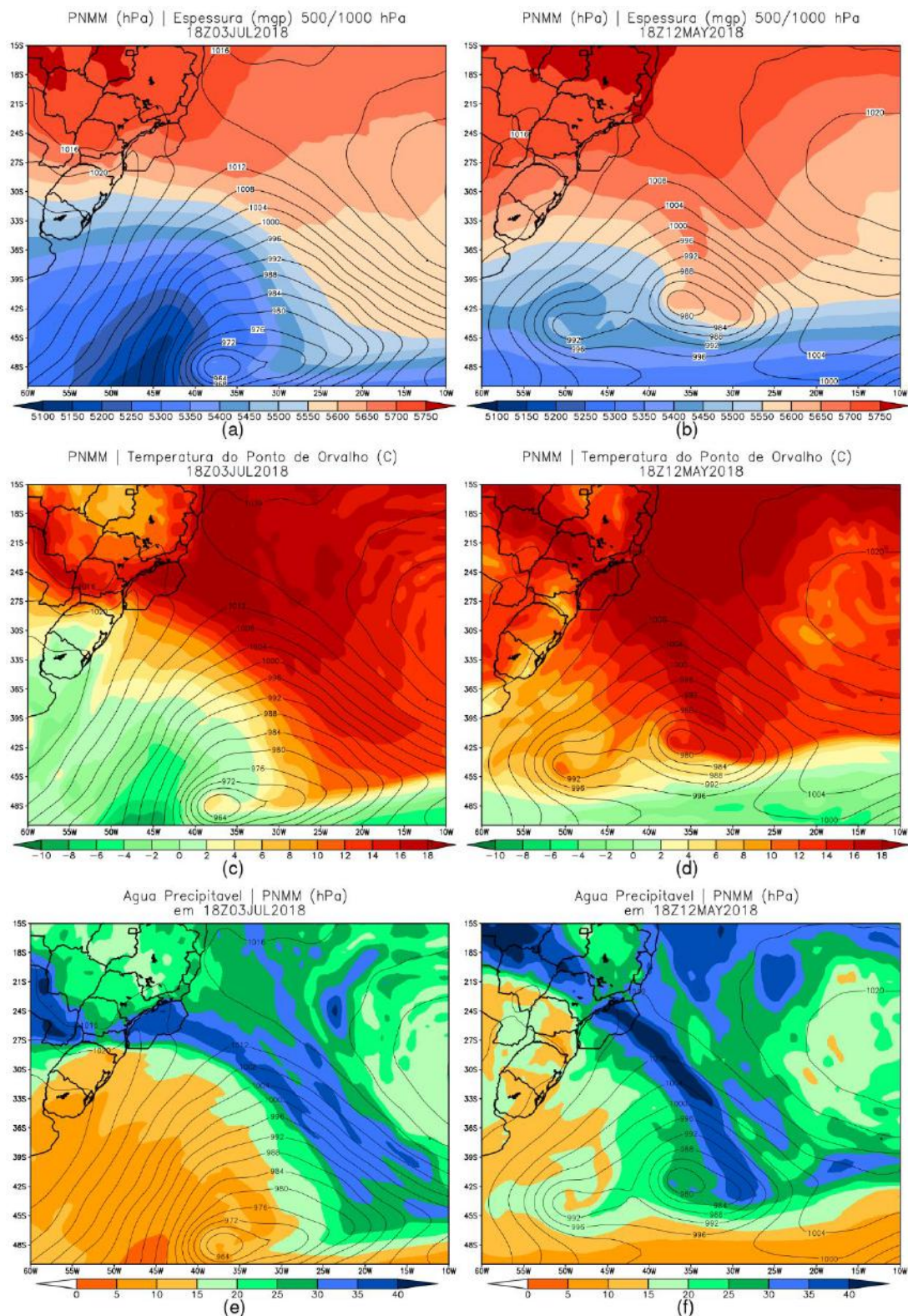


Figura 4.10 - Campos de Espessura da camada entre 1000 e 500 hPa (mgp, sombreado colorido) e PNMM (hPa, contorno) – Linha superior; Td a 2 metros (°C, sombreado colorido) e PNMM (hPa, contorno) – Linha do meio; Água precipitável (mm, sombreado colorido) e PNMM (hPa, contorno) – Linha inferior – gerados para: (a), (c) e (e) Caso-INT – VINT (18z do dia 03/07/2018); (b), (d) e (f) Caso-MOD – VMOD (18z do dia 12/05/2018).

O campo de divergência do vento em 925 hPa mostra regiões de convergência, em baixos níveis. Em ambos os casos, há convergência sobre o oceano, próximo ao centro de baixa de pressão e sobre o cavado frontal, indicando a posição da FF (Figura 4.11 – linha superior). No Caso-INT (Figura 4.11a), também é possível observar regiões com convergência sobre o continente, especialmente próximo à costa, indicando que a FF se estende até próximo do continente como indicado no composto de VINT (Figura 4.1i). Já no Caso-MOD (Figura 4.11b), também há convergência no continente, entretanto a FF foi mais oceânica, o que também foi observado no composto de VMOD (Figura 4.2i). Em ambos os casos, as figuras mostram que a FF já havia passado pela BS, posicionando-se ao norte dela. Entretanto, o horário analisado é após a ocorrência do vento máximo. Ou seja, no horário da ocorrência do evento é provável que as frentes ainda estivessem sobre a bacia. Na figura de movimento vertical em 500 hPa, nota-se regiões com ômega negativo sobre o cavado frontal (posição da FF), próximo ao centro de baixa pressão e sobre o continente em ambos os casos (Figura 4.11c e Figura 4.11d). Regiões essas similares a convergência em baixos níveis. Esses resultados corroboram com os gradientes de espessura, Td e água precipitável, na Figura 4.10, indicando a posição da FF. Ao contrário do observado nos compostos, há mais movimento ascendente próximo à BS no Caso-MOD do que no Caso-INT. Da mesma forma, há maior acumulado de precipitação sobre sul da Bacia no Caso-MOD, enquanto no Caso-INT não há acumulado (Figura 4.11e e Figura 4.11f). Nota-se também algumas regiões no interior do continente com maior acumulado de precipitação no Caso-MOD (Figura 4.11f). Já no Caso-INT, os maiores acumulados estão restritos ao Sul do Brasil e sobre o oceano (Figura 4.11e).

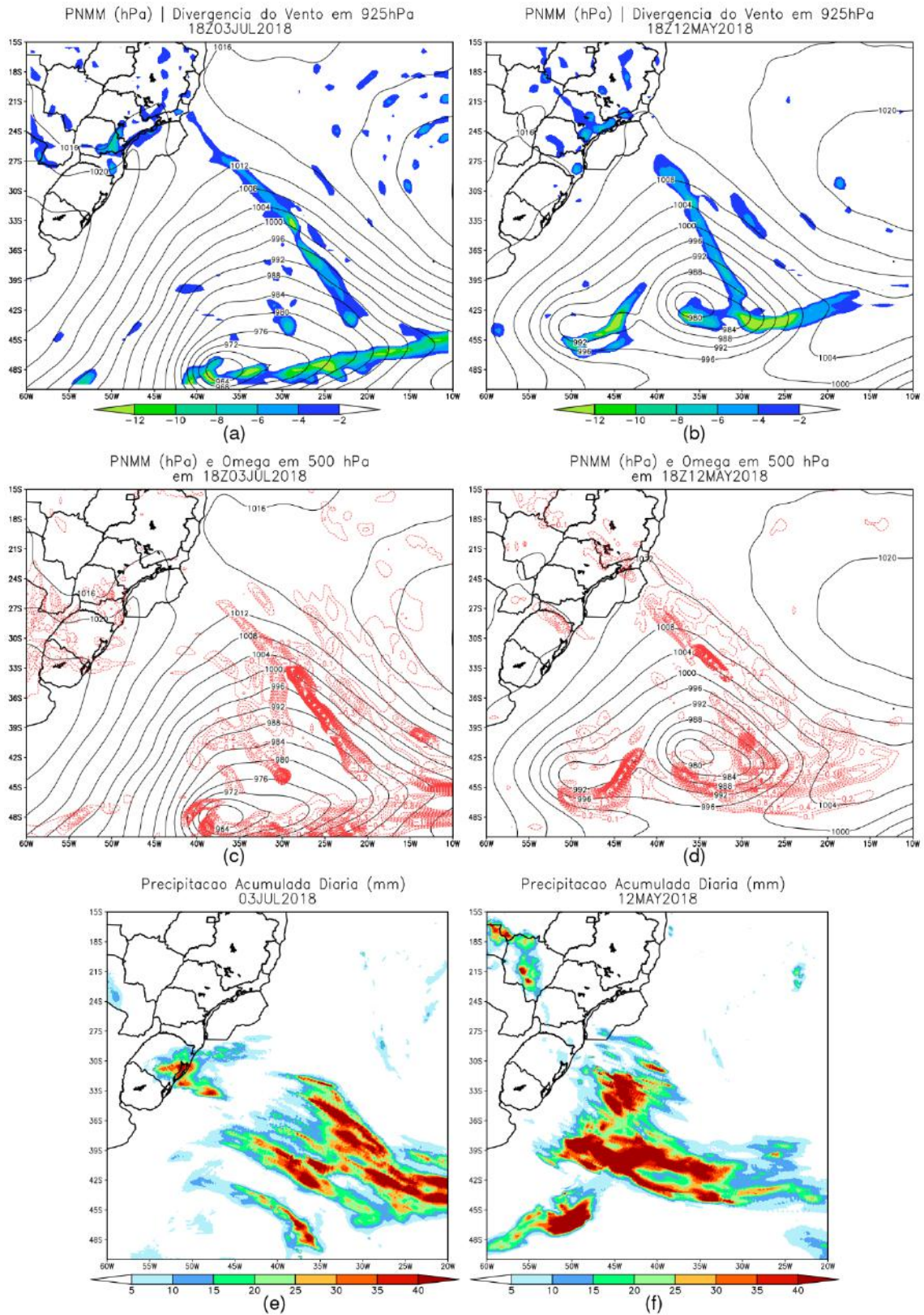


Figura 4.11 - Campos de Divergência do Vento em 925 hPa (10^5 s^{-1} , sombreado colorido) e PNMM (hPa, contorno) – Linha superior; Movimento vertical em 500 hPa (Pa/s, contorno tracejado vermelho) e PNMM (hPa, contorno contínuo preto) – Linha do meio; Precipitação Diária Acumulada (mm) – Linha inferior – gerados para: (a), (c) e (e) Caso-INT – VINT (18z do dia 03/07/2018); (b), (d) e (f) Caso-MOD – VMOD (18z do dia 12/05/2018).

As análises dos estudos de casos indicam que, no Caso-INT há o avanço de uma alta pós-frontal intensa sobre o Sul do Brasil e o cavado frontal alcançando o Norte da bacia, gerando um forte gradiente de pressão sobre a BS. Cavado baroclínico com grande amplitude em médios e altos níveis, posicionado à leste da bacia. Forte gradiente de espessura, água precipitável e Td, sobre oceano e continente, indicando a posição da FF e corroborando com a convergência em baixos níveis. Avanço de uma massa de ar fria e seca sobre o Sul do Brasil, enquanto, sobre o Norte da bacia, há uma massa de ar mais úmida, intensificando o gradiente sobre o oceano. Ao passo que, no Caso-MOD, o cavado frontal também alcança o Norte da BS, porém a alta pós frontal que avança sobre o continente não é tão intensa, ocasionando em um gradiente de pressão mais fraco. Cavado baroclínico, à oeste do sistema em superfície e à leste da bacia, com menor amplitude em médios níveis e menos pronunciado em altos níveis. Avanço de uma massa de ar mais quente e úmida, do que no Caso-INT, sobre o Sul do Brasil e sobre o Norte da bacia, há uma massa de ar mais úmida e quente, contribuindo para que o gradiente de espessura, água precipitável e Td não seja tão forte. Também há uma grande quantidade de água precipitável sobre o continente e cavado de pressão. A convergência em baixos níveis indica a posição da FF e corrobora com as figuras de espessura da camada, Td e água precipitável. Em ambos os casos, não houve acumulado de precipitação sobre a BS. Ao contrário do que foi observado no composto de VINT, onde houve grande acumulado de precipitação sobre a BS. Por fim, os resultados encontrados nos estudos de casos corroboram, em geral, com os obtidos nos compostos.

5. Conclusões

Nesse trabalho elaborou-se uma análise sinótica dos SFs que ocasionaram ventos intensos na BS, para o período de dados da boia de Santos, com o objetivo de identificar as principais características atmosféricas associadas a tais eventos. Os casos com V10M acima do percentil 99 foram considerados como casos VINT e os casos entre os percentis 70 e 90, como casos VMOD. Dentre os casos selecionados, a maioria ocorreu no inverno em VINT (sete dos dez casos), enquanto em VMOD, no outono (cinco dos dez casos).

Os resultados dos compostos indicam que, para os casos VINT, a alta pós frontal que avança sobre o continente e o cavado frontal que alcança a BS são mais intensos do que em VMOD, ocasionando em um forte gradiente de pressão sobre a BS, gerando os ventos intensos registrados na boia. Além disso, o cavado baroclínico em médios e altos níveis possui maior amplitude do que VMOD e está posicionado sobre a região de estudo. Já em VMOD, o cavado alcança apenas o Sul da bacia. A massa de ar associada a alta pós frontal é mais fria e seca em VINT e adentra mais ao continente, enquanto a massa de ar que atua sobre o interior do país e Norte da bacia é mais quente e úmida, intensificando o gradiente de espessura, Td e água precipitável em VINT. Entretanto, há mais umidade sobre o interior do Brasil em VMOD, visto que a maioria dos casos ocorreu em uma estação de transição. Também observou-se que as FFs atuaram mais sobre o oceano, passando apenas pela BS, em VMOD e adentraram mais ao continente em VINT, dado que o forte gradiente de espessura, Td, água precipitável e a convergência em baixos níveis encontram-se sobre o oceano em VMOD. Enquanto em VINT, essas mesmas características que indicam a posição das FFs, atuam mais sobre o continente. A trajetória dos ciclones indica que, em VMOD, os ciclones estão concentrados ao sul de 30°S e possuem trajetórias similares.

Para os campos de anomalia de altura geopotencial em 500 hPa e linha de corrente em 200hPa, observa-se um trem de ondas do Pacífico ao Atlântico em ambos os compostos, porém com centros anômalos deslocados para leste em VMOD, com relação à VINT. O mesmo padrão foi observado por ANDRADE e CAVALCANTI (2018). Sobre a costa Leste da AS, nota-se uma anomalia negativa em 500 hPa sobre a BS e próxima ao continente em VINT, além de um amplo cavado que alcança o Sudeste do Brasil, o que pode ter favorecido o deslocamento dos sistemas sobre o continente. Em VMOD, essa configuração encontra-se um pouco deslocada para leste e com menor intensidade. Em 200 hPa, nota-se uma anomalia ciclônica ao sul da bacia, sobre (a leste) a costa do Sul do Brasil em VINT (VMOD).

Em relação aos estudos de casos de VINT e VMOD, conclui-se que as principais características encontradas nos respectivos compostos foram observadas nos casos selecionados. Para o Caso-INT, observa-se o avanço de uma alta pós frontal intensa e cavado frontal alcançando a bacia, cavado baroclínico com grande amplitude em médios e altos níveis, avanço de uma massa de ar mais fria e seca sobre o Sul do Brasil, gradiente de espessura, Td, água precipitável e forte convergência em baixos níveis sobre o continente e oceano, assim como em VINT. Entretanto, ao contrário do que foi observado no composto, não houve acumulado de precipitação sobre a BS. Para o Caso-MOD, tal como em VMOD, observa-se o avanço de uma alta pós frontal não tão intensa e o cavado frontal sobre o Norte da bacia, cavado baroclínico com pouca amplitude em médios e altos níveis, avanço de uma massa de ar menos fria e seca do que no Caso-INT, gradiente de espessura, Td, água precipitável e forte convergência do vento sobre o oceano. Também há maior teor de umidade sobre o continente no Caso-MOD do que no Caso-INT, assim como observado nos compostos.

Pode-se concluir que os SFs, responsáveis pela geração de ventos intensos sobre a BS, estão associadas a um amplo cavado em médios e altos níveis e a uma alta pós frontal intensa que contribuem para um forte gradiente de pressão sobre a região.

6. Referências Bibliográficas

- ANDRADE, K. M. **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul**. [s.l.] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2005.
- ANDRADE, K. M.; CAVALCANTI, I. F. A. Atmospheric characteristics that induce extreme precipitation in frontal systems over Southeastern Brazil during summer: Observations and atmospheric model simulation. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 14, p. 5368–5385, nov. 2018.
- BJERKNES, J. ON THE STRUCTURE OF MOVING CYCLONES. **Monthly Weather Review**, v. 47, n. 2, p. 95–99, fev. 1919.
- BONNET, S. M.; DEREZYNSKI, C. P.; NUNES, A. Caracterização Sinótica e Climatológica de Eventos de Chuva Pós-Frontal no Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 3, p. 547–557, set. 2018.
- CALDAS, C. F. DE *et al.* Impacto do Gelo Marinho Antártico, do ENOS e do Modo Anular Sul sobre as Frentes Frias na América do Sul. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n. 4, 18 dez. 2020.
- CARDOSO, A. A. **Ciclones subtropicais e ventos em superfície no sudoeste do Oceano Atlântico Sul: Climatologia e extremos**. [s.l.] IAG/USP, 2019.
- CARDOZO, A. B. *et al.* CLIMATOLOGIA DE FRENTES FRIAS NA AMÉRICA DO SUL E SUA RELAÇÃO COM O MODO ANULAR SUL (CLIMATOLOGY OF COLD FRONTS OVER SOUTH AMERICA AND ITS RELATION WITH THE SOUTHERN ANNULAR MODE). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, 31 dez. 2015.
- CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. Frentes Frias sobre o Brasil. In: **Tempo e Clima no Brasil**. [s.l.: s.n.]. p. 135–145.
- COELHO, C. A. S. *et al.* The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. **Climate Dynamics**, v. 46, n. 11, p. 3737–3752, 2016.
- DOLIF, G.; NOBRE, C. Improving extreme precipitation forecasts in Rio de Janeiro, Brazil: are synoptic patterns efficient for distinguishing ordinary from heavy rainfall episodes? **Atmospheric Science Letters**, v. 13, n. 3, p. 216–222, jul. 2012.

FRANCO, R. M.-C. **ANÁLISE SINÓTICA E DE MESOESCALA DE VENTOS INTENSOS COM IMPACTO DESTRUTIVO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**. [s.l.] UFRJ, 2020.

FRANCO, R. M.-C.; MENEZES, W. F.; VASCONCELLOS, F. C. Análise Sinótica e de Mesoescala de Ventos Intensos com Impacto Destrutivo em Linhas de Transmissão de Energia Elétrica no Paraná. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 07, p. 3177, 11 dez. 2020.

GARREAUD, R. D. Cold Air Incursions over Subtropical South America: Mean Structure and Dynamics. **Monthly Weather Review**, v. 128, n. 7, p. 2544–2559, jul. 2000.

LIEBMANN, B.; SMITH, C. A. Description of a Complete (Interpolated) Outgoing Longwave Radiation Dataset. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 77, n. 6, p. 1275–1277, 1996.

LIMA, K. C.; SATYAMURTY, P.; FERNÁNDEZ, J. P. R. Large-scale atmospheric conditions associated with heavy rainfall episodes in Southeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 101, n. 1–2, p. 121–135, 12 jul. 2010.

MARINHA, B. DO. **Escala Beaufort**. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-referencias/referencia>>.

MOURA, C. R. W.; ESCOBAR, G. C. J.; ANDRADE, K. M. Padrões de circulação em superfície e altitude associados a eventos de chuva intensa na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 3, p. 267–280, set. 2013.

NOBRE, C. A. *et al.* Overview of atmospheric conditions during the Smoke, Clouds, and Radiation-Brazil (SCAR-B) field experiment. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 103, n. D24, p. 31809–31820, 27 dez. 1998.

OLIVEIRA, A. S. **Interações entre sistemas frontais na América do Sul e convecção na Amazônia**. [s.l.] INPE/SJC, 1986.

PAMPUCH, L. A.; AMBRIZZI, T. SISTEMAS FRONTAIS SOBRE A AMÉRICA DO SUL PARTE II: MONITORAMENTO MENSAL EM DADOS DA REANÁLISE I DO NCEP/NCAR. **Ciência e Natura**, v. 38, p. 105, jul. 2016.

PETROBRAS. **Bacia de Santos**. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/bacias/bacia-de-santos.shtml>>.

PETROBRAS. **Relatório Técnico 01 do Projeto 2018/00067-1**. [s.l: s.n.].

PETROBRAS. **Relatório Técnico 02 do Projeto 2018/00067-1**. [s.l: s.n.].

REBOITA, M. S. *et al.* South Atlantic Ocean cyclogenesis climatology simulated by regional climate model (RegCM3). **Climate Dynamics**, v. 35, n. 7–8, p. 1331–1347, 23 dez. 2010.

ROZANTE, J. R. *et al.* Combining TRMM and Surface Observations of Precipitation: Technique and Validation over South America. **Weather and Forecasting**, v. 25, n. 3, p. 885–894, jun. 2010.

SAHA, S. *et al.* The NCEP Climate Forecast System Version 2. **Journal of Climate**, v. 27, n. 6, p. 2185–2208, 15 mar. 2014.

SATYAMURTY, P.; NOBRE, C. A.; SILVA DIAS, P. L. South America. In: **Meteorology of the Southern Hemisphere**. Boston, MA: American Meteorological Society, 1998. p. 119–139.

VASCONCELLOS, F. C.; CAVALCANTI, I. F. A. Extreme precipitation over Southeastern Brazil in the austral summer and relations with the Southern Hemisphere annular mode. **Atmospheric Science Letters**, v. 11, n. 1, 2010.

VASCONCELLOS, F. C.; SOUZA, J. N. DE. The anomalous wet 2020 southeast Brazil austral summer: characterization and possible mechanisms. **Atmosfera**, 26 out. 2020.

WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. San Diego, CA: Academic Press (International Geophysics Series 91), 2006.